

Regulovatelný laboratorní zdroj pro napájení automobilových elektronických systému

Adjustable laboratory power supply for automotive electronic
systems

Tomáš Glomb

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Mrověc Ph.D.

Ostrava, 2021

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a následnou realizací laboratorního zdroje, který bude sloužit k napájení automobilových elektronických systémů. Po dohodě s vedoucím práce bude mít zdroj jeden stabilizovaný výstup 5 V s maximálním proudem 2 A, jeden stabilizovaný výstup 12 V s maximálním proudem 4 A a regulovaný výstup 0 až 30 V s regulovaným proudovým omezením 0 až 3 A. Kvůli požadavkům na minimální zvlnění bylo zvoleno lineární zapojení všech výstupů. To má za následek jednodušší zapojení a konstrukci než zdroj spínaný, ale také menší účinnost a z toho plynoucí větší tepelné ztráty. Práce je rozdělena do několika částí. V první části je teoreticky charakterizována problematika lineárních zdrojů a jejich hlavních částí. Následně je popsána funkčnost mnou vybraného zapojení. V další části jsou tato zapojení odsimulována, aby se ověřila správná funkčnost. V poslední části je zapojení zrealizováno a je provedeno kontrolní měření.

Klíčová slova

Napájecí zdroj, lineární zdroj, regulace, stabilizátor.

Abstract

This bachelor's thesis is focused on the design and realisation of laboratory resources that will be used to power automotive systems. In agreement with the supervisor, the source will have one stabilized 5 V output with a maximum current of 2 A, one stabilized 12 V output with a maximum current of 4 A and a regulated output of 0 to 30 V with a regulated current limit of 0 to 3 A. Due to the requirement of minimum ripple I chose linear supply for all outputs. This results in a simpler connection and design than the switched-mode power supply, but also in poorer efficiency and the resulting greater heat loss. The work is divided into several parts. In the first part the issue of linear sources and their main parts will be theoretically described. In the next part, the simulation of all circuits is made to verify the functionality. In the last part the circuits are made and the control measurement is performed.

Key words

Power supply, linear power supply, regulation, stabilizer.

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Tomáši Mrovčovi, Ph.D. za obětavou pomoc, kterou mi při zpracování práce poskytoval. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Martinu Sobkovi Ph.D. za pomoc při výrobě DPS a za další cenné rady. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za materiální a psychickou podporu, kterou mi během studia poskytla.

Obsah

Úvod.....	- 9 -
1 Lineární zdroje	- 10 -
1.1 Síťový transformátor	- 10 -
1.2 Usměrňovač a filtr	- 10 -
1.2.1 Můstkový usměrňovač	- 11 -
1.3 Stabilizátor	- 11 -
1.3.1 Stabilizátor 78S05	- 13 -
1.3.2 Stabilizátor 7812.....	- 13 -
2 Návrh laboratorního zdroje	- 14 -
2.1 Volba transformátoru	- 14 -
2.1.1 Návrh transformátoru pro stabilizovaný výstup 5 V	- 14 -
2.1.2 Návrh transformátoru pro stabilizovaný výstup 12 V	- 14 -
2.1.3 Návrh transformátoru pro regulovatelný výstup 0 až 30 V	- 14 -
2.2 Výpočet filtračních kondenzátoru	- 15 -
2.3 Volba můstkového usměrňovače.....	- 15 -
2.4 Výpočet ztrátového výkonu a volba chladiče.....	- 16 -
2.5 Výpočet chlazení pro stabilizovaný zdroj 5 V	- 16 -
2.6 Výpočet chlazení pro stabilizovaný zdroj 12 V	- 17 -
2.7 Výpočet chlazení pro regulovatelný zdroj.....	- 17 -
2.8 Výběr chladiče.....	- 17 -
3 Schéma zapojení a popis činnosti.....	- 18 -
3.1 Popis činnosti zapojení pro stabilizovanou větev 5 V	- 18 -
3.2 Popis činnosti zapojení pro stabilizovanou větev 12 V	- 18 -
3.3 Popis činnosti regulovatelného zdroje.....	- 19 -
4 Simulace a ověření funkčnosti	- 21 -
4.1 Simulace stabilizované větve 5 V	- 21 -
4.2 Simulace stabilizované větve 12 V	- 23 -
4.3 Simulace regulovatelného zdroje	- 25 -
5 Realizace zapojení.....	- 28 -

5.1	Pomocné obvody	- 28 -
5.2	Panelové měřidlo	- 30 -
5.3	Ochranné prvky	- 31 -
5.4	Výroba DPS.....	- 32 -
5.5	Konstrukce krytu	- 35 -
6	Výstupní měření jednotlivých zapojení.....	- 36 -
7	Závěr	- 39 -

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
C	F	Elektrická kapacita
I	A	Proud
P	W	Výkon
R	Ω	Elektrický odpor
T	K	Termodynamická teplota
U	V	Napětí

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
AC	Střídavá složka
DC	Stejnoseměrná složka
DPS	Deska plošného spoje
IO	Integrovaný obvod
OZ	Operační zesilovač
POT	Potenciometr
SMD	Součástky určené pro povrchovou montáž
THT	Through hole technology (součástky s drátovými vývody)

Seznam obrázku

Obrázek 1.2:	Stabilizátor se zenerovou diodou	- 12 -
Obrázek 1.3:	Stabilizátor se zenerovou diodou a tranzistorem	- 12 -
Obrázek 1.4:	Schéma zapojení stabilizátoru L78S05.....	- 13 -
Obrázek 1.5:	Schéma zapojení stabilizátoru L7812.....	- 13 -
Obrázek 2.1:	Přenos tepla.....	- 16 -
Obrázek 3.1:	Schéma zapojení zdroje 5 V.....	- 18 -
Obrázek 3.2:	Schéma zapojení 12 V	- 18 -
Obrázek 3.3:	Schéma zapojení I. část regulovaného obvodu	- 19 -
Obrázek 4.1:	Schéma zapojení pro simulaci 5 V	- 21 -
Obrázek 4.2:	Průběhy napětí při maximálním zatížení	- 22 -
Obrázek 4.3:	Ztrátový výkon na stabilizátoru 78S05.....	- 22 -
Obrázek 4.4:	Proudová ochrana obvodu	- 23 -
Obrázek 4.5:	Schéma zapojení pro simulaci 12 V	- 23 -
Obrázek 4.6:	Průběhy napětí a proudu stabilizovaného výstupu 12 V	- 24 -
Obrázek 4.7:	Ztrátové výkony, na jednotlivých součástkách	- 24 -
Obrázek 4.8:	Proudová ochrana obvodu	- 25 -
Obrázek 4.9:	Schéma pro simulaci vytvoření kladného a záporného napětí	- 26 -
Obrázek 4.10:	Průběhy vytvořeného kladného a záporného napětí	- 26 -
Obrázek 4.11:	Ztrátový výkon na regulačních tranzistorech a jejich odporech	- 27 -
Obrázek 5.1:	Blokové schéma zdroje	- 28 -
Obrázek 5.2:	schéma pomocného zdroje	- 28 -
Obrázek 5.3:	Schéma zapojení regulátoru otáček ventilátoru	- 29 -
Obrázek 5.4:	Schéma zapojení LED	- 30 -
Obrázek 5.5:	Blokové schéma zapojení panelového měřidla.....	- 31 -
Obrázek 5.6:	Tabulka šířky vodiče pro dané proudy [7]	- 32 -
Obrázek 5.7:	3D návrh desky stabilizovaného zdroje.....	- 33 -
Obrázek 5.8:	3D návrh desky regulovatelného zdroje část I	- 33 -
Obrázek 5.9:	3D návrh desky regulovatelného zdroje část II.....	- 34 -
Obrázek 5.10:	3D návrh desky pomocného zdroje	- 34 -
Obrázek 5.11:	Kryt.....	- 35 -
Obrázek 6.1:	Průběh proudu a napětí v závislosti na čase (zdroj 5 V).....	- 36 -
Obrázek 6.2:	Zatěžovací charakteristika zdroje 5 V	- 36 -
Obrázek 6.3:	Průběh proudu a napětí v závislosti na čase (zdroj 12 V).....	- 37 -
Obrázek 6.4:	Zatěžovací charakteristika zdroje 12 V	- 37 -
Obrázek 6.5:	Zatěžovací charakteristika regulovatelného zdroje.....	- 38 -
Obrázek 6.6:	Ověření proudového omezení regulovatelného zdroje	- 38 -

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1.1:</i>	<i>porovnání lineárních a spínaných zdrojů.....</i>	<i>- 9 -</i>
<i>Tabulka 1.2:</i>	<i>Zvolené parametry usměrňovačů</i>	<i>- 16 -</i>
<i>Tabulka 1.3:</i>	<i>Přehled zvolených chladičů.....</i>	<i>- 17 -</i>

Úvod

Napájecí zdroj je v dnešní době zcela nutnou součástí každého elektrického spotřebiče, jelikož dodává nezbytnou energii k jeho provozu. Hlavním úkolem napájecího zdroje je přeměnit vstupní energii, která může být například elektrická, tepelná nebo solární na energii elektrickou, kterou následně využívá napájené zařízení. V oblasti laboratorních zdrojů využíváme nejčastěji zdroje síťové, to znamená, že vstupní veličina je síťové napětí, které má v České republice hodnotu 230 V a 50 Hz. Výstupní napětí pak může být podle druhu aplikace střídavé, stejnosměrné, případně může mít speciální tvar pily, impulsu a podobně. Práce se zabývá laboratorním zdrojem, jehož výstupní napětí a proud bude stejnosměrné. Tyto laboratorní zdroje jsou nejčastěji realizovány lineárním nebo spínaným zdrojem.

Lineární zdroje mají velkou výhodu ve své jednoduchosti zapojení, malému výstupnímu zvlnění a malému šumovému napětí. Jejich velkou nevýhodou a důvod, proč se dnes již tak často nevyužívají, je nízká účinnost a velké tepelné ztráty.

Spínané zdroje jsou dnes častěji využívány, jelikož umožňují vytvářet kompaktní přístroje s malým objemem a hmotností a s velkou účinností. Největší výhodou ve srovnání s lineárními zdroji je vyšší účinnost a s rostoucím výkonem příliš nenarůstá jejich hmotnost. Nevýhodou těchto zdrojů jsou vysoké pracovní kmitočty. Z toho důvodu musí být použité součástky přizpůsobeny na vysoké pracovní frekvence a tím se zvyšuje i jejich cena. Účinnost spínaných zdrojů se pohybuje v rozmezí od 60 % (kdy jsou tyto zdroje velmi špatně optimalizovány) až do 80 %. U lineárních zdrojů se účinnost pohybuje zpravidla okolo 30 %. [1]

Jednoduché srovnání lineárního zdroje se zdrojem spínaným je uvedeno v tabulce níže, která je převzata z [1].

Tabulka 1.1: *porovnání lineárních a spínaných zdrojů*

parametr	spínaný zdroj	lineární zdroj
účinnost (%)	75	30
Velikost (W/cm^3)	0,2	0,05
Váha (W/kg)	100	20
výstupní zvlnění (mV)	50	5
šumové napětí (mV)	200	50
odezva na skok (ms)	1	0,02
doba náběhu (ms)	20	2
cena	přibližně konstantní	zvětšující se s výkonem

1 Lineární zdroje

Lineární zdroje se obvykle skládají ze čtyřech hlavních částí, a to z transformátoru, usměrňovače, filtru a stabilizátoru. Výhodou lineárního zdroje je malé výstupní zvlnění, jelikož pracujeme pouze se síťovou frekvencí na rozdíl od zdrojů spínaných, kde se pohybujeme ve vysokých frekvencích, a také v jednoduchosti zapojení, které je u lineárních zdrojů jednodušší.

1.1 Síťový transformátor

Transformátor zajišťuje úpravu síťového napětí v našem případě 230 V/50 Hz na námi požadovanou hodnotu. Další důležitou funkcí, kterou plní je galvanické oddělení obvodu od sítě. Hodnota výstupního napětí transformátoru je pak dána poměrem počtu primárních a sekundárních závitů a ztrátami, které jsou závislé na přenášeném výkonu. S rostoucím výkonem transformátoru obvykle narůstají jeho rozměry a hmotnost.

$$p = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_s}{N_p} = \frac{I_1}{I_2} \quad (1.1)$$

Tento vzorec však platí pouze pro ideální transformátor. U reálného vznikají ztráty a jeho účinnost je vždy nižší než 100 %. Ztráty vznikají v jádře transformátoru a na jeho primárním i sekundárním vinutí díky reálnému odporu těchto vinutí.

V závislosti na požadavcích a aplikaci se používají různé druhy síťových transformátorů. Nejčastěji to pak mohou být transformátory s M a E/I plechy, transformátory s C a Q jádry a transformátory s toroidními jádry. V dnešní době se pro aplikace laboratorních zdrojů nejčastěji využívají toroidní transformátory, jelikož mají několik výhod. Při stejném přenášeném výkonu zaujmají přibližně poloviční objem než transformátory s EI plechy. To má za následek úspory materiálu, a to jak mědi na vinutí transformátoru, tak magnetického materiálu na výrobu jádra. Velkou výhodou je také malé rozptylové pole v porovnání s plášťovými transformátory. Upevnění může být realizováno kovovými, dokonce i magnetickými příložkami a jedním šroubem. Rozsah výkonu se nejčastěji pohybuje v rozmezí 10-500 VA. Nevýhodou je vyšší cena ve srovnání s transformátory jiných druhů. [2]

1.2 Usměrňovač a filtr

Střídavé napětí z výstupu transformátoru musíme usměrnit na stejnosměrné. K tomuto účelu využíváme usměrňovače. Existuje několik typů usměrňovačů, například: jednocestné, dvoucestné a můstkové usměrňovače. Jednocestný usměrňovač se hodí pro vysoká napětí a malé proudy, ale má velké zvlnění. Dvoucestný se naopak hodí pro nízká napětí, velké proudy a má malé zvlnění, ale je nutné použít dvojité vinutí transformátoru. Můstkový usměrňovač (Greatzův) je vhodný pro střední napětí a vysoké proudy při malém zvlnění a je dnes nejčastějším používaným usměrňovačem. Ve všech zapojeních se bude využívat můstkový usměrňovač. Aby

bylo výstupní napětí z usměrňovače dostatečně vyhlazeno, zařazuje se do zapojení k usměrňovači rovnou filtr, který je tvořen nejčastěji kondenzátorem. [3]

1.2.1 Můstkový usměrňovač

Můstkový usměrňovač má výhodu v použití pouze jednoho sekundárního vinutí transformátoru a výsledné zvlnění je dáno shodným vztahem jako u dvoucestného usměrňovače. Jednou diodou teče pouze polovina výstupního stejnosměrného proudu. Z toho vyplývá, že dimenzování proudu diodou je jednoduché. U napětí je to však složitější. Jedna úvaha vychází z předpokladu, že závěrné napětí se rozloží pravidelně na obě diody po jedné polovině a pak lze diodu navrhovat s podmínkou.

$$U_R > U_0 \quad (1.2)$$

To je optimistický návrh. Jiná úvaha vychází z předpokladu, že dvě současně závěrně polarizované diody jsou různé a jejich závěrná napětí budou také odlišná. Potom je potřeba dimenzovat všechny diody na plná závěrná napětí.

$$U_R > 2 \cdot U_0 \quad (1.3)$$

Tento návrh je pesimistický. Skutečná hodnota leží někde v intervalu mezi nimi. Po zbytek práce budou diody dimenzovány alespoň na 1,5x hodnotu U_0 .

Dimenzování nabíjecího kondenzátoru se pak provádí podle vztahu

$$C_N = 300 \cdot I / (p \cdot U_0) \quad (1.4)$$

Kde:

- U_0 je výstupní stejnosměrné napětí
- I je výstupní stejnosměrný proud
- p je zvlnění výstupního napětí

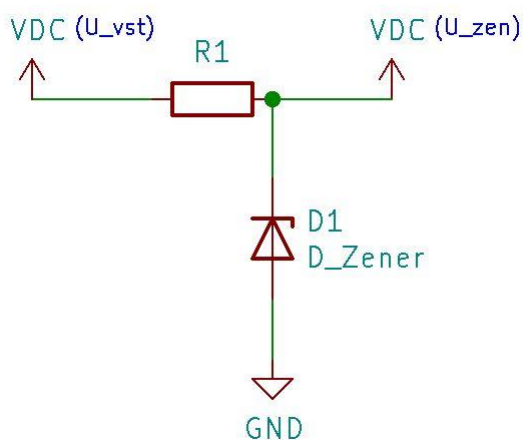
Jeho napětí pak musí být větší než výstupní stejnosměrné napětí z usměrňovače. [3]

$$U_C > U_0 \quad (1.5)$$

1.3 Stabilizátor

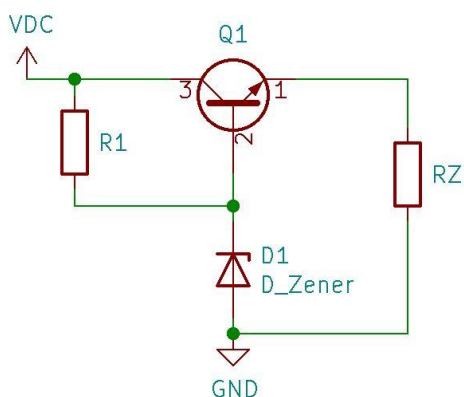
Mezi stabilizátory lze řadit všeobecně všechny obvody, které umožňují stabilizovat výstupní napětí nebo proud při změnách výstupní zátěže, vstupního (obvykle síťového) napětí a okolní teploty. Nejjednodušší druh stabilizátoru je například stabilizátor se zenerovou diodou. U této diody se pohybujeme v třetím kvadrantu převodní charakteristiky v oblasti za tzv. kolenem, kde při velkém nárůstu proudu dochází k pomalé změně napětí a nedochází k destruktivnímu průrazu jako třeba u křemíkových diod. V závislosti na zenerovém napětí se diody dělí na zenerovy diody s kladným teplotním koeficientem (nad 4,7 V) a na zenerovy diody se záporným teplotním koeficientem (pod 4,7 V). V praxi to tedy znamená, že pokud budeme zenerovu diodu s kladným teplotním koeficientem zahřívat výsledné zenerovo napětí bude o něco větší. V

opačném případě při záporném teplotním koeficientu bude pak napětí při zahřívání o něco menší.
[3]



Obrázek 1.2: Stabilizátor se zenerovou diodou

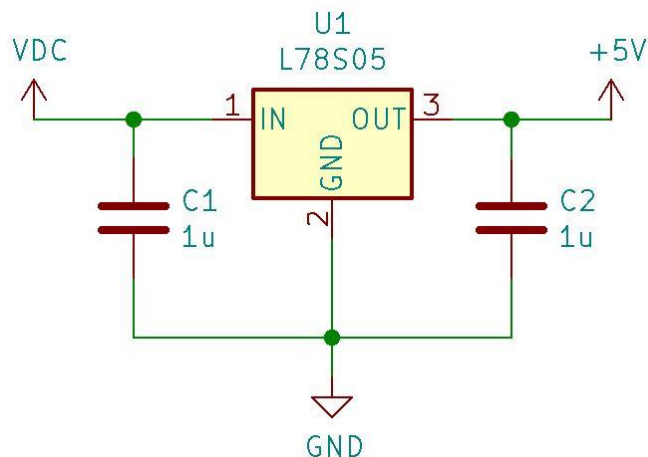
Toto zapojení má však nevýhodu, že zenerovou diodou nemůže procházet příliš velký proud (maximálně 50 mA). Proto se velmi často do obvodu zapojuje tranzistor, který tuto vlastnost vylepší.



Obrázek 1.3: Stabilizátor se zenerovou diodou a tranzistorem

V dnešní době se nejčastěji využívají stabilizátory ve formě integrovaných obvodů. Tyto stabilizátory se dělí do několika skupin, a to na kladné, záporné, s pevným výstupem, sledovací a plovoucí. Každý z těchto druhů má své specifické vlastnosti a charakteristiky a je vhodný pro specifické aplikace. V nadcházejících zapojeních budou použity stabilizátory 78S05 a 7812, které jsou běžné a cenově dostupné.[3]

1.3.1 Stabilizátor 78S05

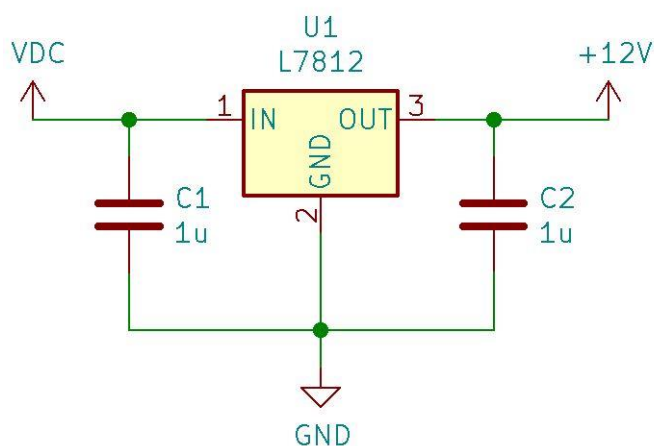


Obrázek 1.4: Schéma zapojení stabilizátoru L78S05

Stabilizátor 78S05 je velmi často používaný integrovaný stabilizátor řady 78xx, kde výstupní stabilizované napětí je 5 V a maximální možný proud je 2 A na rozdíl třeba od stabilizátoru 7805, kde je maximální proud pouze 1,5 A. Maximální vstupní napětí stabilizátoru je 35 V. Při překročení maximálního možného proudu nebo teploty je obvod vybaven proudovou a tepelnou ochranou, která zapříčiní, že výstupní napětí poklesne a stabilizátor se nezničí.[4]

1.3.2 Stabilizátor 7812

Stabilizátor 7812 je opět velmi používaný integrovaný stabilizátor řady 78. Jeho výstupní napětí je 12 V a maximální možný proud je 1,5A. Maximální možné napětí na vstupu je 35 V. Obvod opět disponuje proudovou a tepelnou ochranou, která zareaguje při překročení maximálního možného proudu na výstupu a výstupní napětí poklesne.[5]



Obrázek 1.5: Schéma zapojení stabilizátoru L7812

2 Návrh laboratorního zdroje

Každý lineární zdroj se skládá ze čtyř základních částí, a to z transformátoru usměrňovače, filtru a stabilizátoru. V následující kapitole bude popsán výběr transformátoru, výpočet filtračního kondenzátoru, volba usměrňovače a výpočet ztrátového výkonu na regulovaných součástkách.

2.1 Volba transformátoru

Jelikož je návrh vlastního transformátoru komplikovaná záležitost, bude v následujících zapojeních využíváno transformátorů, které jsou běžně k dostání a budou voleny na základě výstupního napětí a výkonu. Pro usměrnění výstupního napětí transformátoru bude zvolen můstkový usměrňovač s maximálním úbytkem napětí na diodě 0,9 V.

2.1.1 Návrh transformátoru pro stabilizovaný výstup 5 V

Pro zapojení stabilizovaného zdroje napětí 5 V se vychází z toho, že minimální hodnota vstupního stejnosměrného napětí na vstupu stabilizátoru musí být 12 V. V tomto zapojení bude použit můstkový usměrňovač, který má úbytek napětí na diodě 0,9 V. Bude zvolen transformátor, jehož výstupní napětí má hodnotu 15 V. Výsledné napětí po usměrnění pak bude přibližně:

$$U_{out5V} = U_{in} \cdot \sqrt{2} - 2 \cdot U_s = 15 \cdot \sqrt{2} - 2 \cdot 0,9 \approx 19,4 \text{ V} \quad (2.1)$$

Kde:

- U_{out5V} je výstupní usměrněné napětí (napětí na vstupu stabilizátoru)
- U_{in} je napětí na výstupu transformátoru
- U_s je úbytek napětí na diodě usměrňovače

2.1.2 Návrh transformátoru pro stabilizovaný výstup 12 V

Pro zapojení stabilizovaného zdroje bude vycházeno z toho, že minimální hodnota vstupního stejnosměrného napětí na vstupu stabilizátoru musí být minimálně 15 V. Opět bude použit můstkový usměrňovač s úbytkem na diodě 0,9 V při. Výstupní napětí transformátoru by mělo mít hodnotu 15 V. Výsledné napětí po usměrnění pak přibližně bude:

$$U_{out12V} = U_{in} \cdot \sqrt{2} - 2 \cdot U_s = 15 \cdot \sqrt{2} - 2 \cdot 0,9 \approx 19,4 \text{ V} \quad (2.2)$$

2.1.3 Návrh transformátoru pro regulovatelný výstup 0 až 30 V

Pro zapojení regulovaného zdroje musí být hodnota na vstupu obvodu rovna přibližně 33 V, ale nesmí překročit maximální možné napětí na OZ, které je 38 V. Opět budeme uvažovat použití můstkového usměrňovače s úbytkem na diodě 0,9 V. Bude zvolen transformátor s výstupním napětím 24 V. Výsledné napětí po usměrnění, pak bude rovno přibližně hodnotě:

$$U_{out30V} = U_{in} \cdot \sqrt{2} - 2 \cdot U_s = 24 \cdot \sqrt{2} - 2 \cdot 0,9 \approx 32,1 \text{ V} \quad (2.3)$$

2.2 Výpočet filtračních kondenzátoru

Pro výpočet hodnoty filtračního kondenzátoru bude použit následující vztah, který je převzat z [1]:

$$C_n = 300 \cdot I \div (U_0 \cdot p) \quad (2.4)$$

Kde:

- I je výstupní stejnosměrný proud
- U_0 je výstupní stejnosměrné napětí (za usměrňovačem)
- p je zvlnění výstupního napětí

Filtrační kondenzátor pak bude mít pro zapojení stabilizovaného zdroje 5 V/2 A přibližně hodnotu:

$$C_n = 300 \cdot I \div (U_{out5V} \cdot p) = 300 \cdot 2000 \div (19,4 \cdot 10) = 3,01 \text{ mF} \quad (2.5)$$

Pro zapojení 12 V/4 A hodnotu

$$C_n = 300 \cdot I \div (U_{out12V} \cdot p) = 300 \cdot 4000 \div (19,4 \cdot 10) = 6,2 \text{ mF} \quad (2.6)$$

Pro zapojení regulovatelného zdroje napětí (0-30 V/3 A) pak hodnota filtračního kondenzátoru přibližně bude:

$$C_n = 300 \cdot I \div (U_{out30V} \cdot p) = 300 \cdot 3000 \div (32,1 \cdot 10) = 2,8 \text{ mF} \quad (2.7)$$

V simulacích bylo zjištěno, že hodnota filtračního kondenzátoru pro zapojení stabilizovaného zdroje 12 V nemusí být při maximálním proudovém zatížení dostatečná a v zapojení bude použit kondenzátor s vyšší kapacitou 10 mF. U zbylých dvou zapojení bude použita také vyšší kapacita, aby bylo zvlnění nižší.

Při volbě kondenzátoru je velmi důležité dodržet také to, aby jejich pracovní napětí nebylo nižší, než napětí na výstupu usměrňovače což v tomto případě je alespoň 35 V pro první dvě zapojení a 50 V pro zapojení regulovaného zdroje.

2.3 Volba můstkového usměrňovače

Můstkový usměrňovač se dimenzuje podle dvou základních podmínek, které již byly zmíněny v úvodu. První je, že minimální hodnota proudu jednou diodou usměrňovače musí být minimálně rovna polovině výstupního stejnosměrného proudu. Druhá podmínka je, že minimální hodnota závěrného napětí na diodě musí být alespoň 1,5x větší, než je hodnota výstupního stejnosměrného napětí za usměrňovačem. V praxi je však lepší nechat ještě u obou parametrů rezervu.

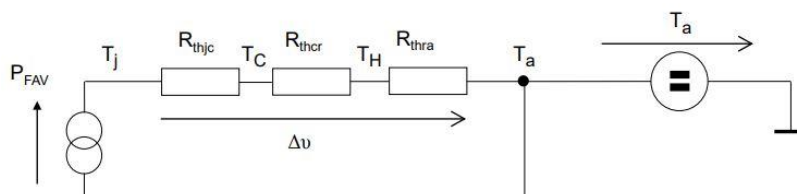
Pro daná zapojení budou zvoleny usměrňovače dle těchto podmínek.

Tabulka 1.2: *Zvolené parametry usměrňovačů*

Zapojení	5 V/2 A	12 V/4 A	0-30 V/3 A
Maximální souvislý proud	4 A	6 A	4 A
Maximální závěrné napětí	50 V	50 V	100 V

2.4 Výpočet ztrátového výkonu a volba chladiče

Výpočet ztrátového výkonu a zvolení vhodného chladiče je u lineárních zdrojů velmi důležité, jelikož lineární zdroj funguje tak, že přes regulovaný prvek, většinou stabilizátor nebo výkonový tranzistor, kterým teče všechen proud obvodu a vzniká na něm často velký úbytek napětí. Z toho pak plynou velké výkonové ztráty, které je nutné odvádět pryč od součástky za pomoci chladiče a případně i ventilátoru. Pro návrh vhodného chlazení bude využito tzv. tepelné schéma. Toto schéma je ekvivalentem schématům elektrickým. Na straně zdroje je ztrátový výkon danou součástkou a na straně spotřebičů jsou to tepelné odpory, které znázorňují jednotlivé tepelné složky, na kterých vzniká teplotní úbytek. Největší ztrátový výkon na regulovaných součástkách bude vždy v případě maximálního proudového zatížení a u regulovaného zdroje při maximálním proudovém zatížení a nejmenším výstupním napětí. Jelikož jsou výkonové ztráty velké, bude zdroj vybaven ventilátorem, který účinnost chlazení vylepší a bude možno použít menší chladiče.



Obrázek 2.1: *Přenos tepla*

R_{thjc} - je teplotní odpor pouzdra součástky

R_{thcr} - je teplotní odpor přechodu

R_{thra} - je teplotní odpor chladiče

P_{FAV} - je ztrátový výkon

T_a - je teplota okolí

2.5 Výpočet chlazení pro stabilizovaný zdroj 5 V

Regulační prvek v obvodu je stabilizátor 78S05. Maximální ztrátový výkon bude na stabilizátoru při maximálním proudovém zatížení tedy 2 A. Jelikož má vstupní napětí (na vstupu stabilizátoru) hodnotu 19,4 V a výstupní napětí je 5 V a úbytek na usměrňovači a stabilizátoru je přibližně 2 V, bude na stabilizátoru vznikat úbytek napětí přibližně 11 V. Ztrátový výkon na regulátoru pak bude přibližně 22 W.

Pro výpočet vhodného chlazení pak budu vycházet ze vztahu:

$$R_{TU2} = \frac{\Delta t}{P} = \frac{t_j - t_a}{P} = \frac{150 - 45}{22} = 4,8 \frac{K}{W} \quad (2.8)$$

Kde:

- R_T - je teplotní odpor součástky
- t_j - je maximální teplota pouzdra stabilizátoru (odečteno z katalogu)
- t_a - je teplota okolí (chladič bude umístěn na DPS proto bude zvolena teplota 45°C)
- P - je ztrátový výkon na stabilizátoru

Z vypočtené hodnoty vyplývá, že bude nutné volit chladič s tepelným koeficientem menším než 4,77 K/W.

2.6 Výpočet chlazení pro stabilizovaný zdroj 12 V

V zapojení stabilizovaného zdroje 12 V je regulační prvek tranzistor Q1 typ MJ2955. Na tranzistoru by při maximálním zatížení 4 A měl vznikat ztrátový výkon přibližně 30 W. Teplotní odpor součástky pak bude:

$$R_{TQ1} = \frac{\Delta t}{P} = \frac{t_j - t_a}{P} = \frac{200 - 35}{30} = 5,5 \frac{K}{W} \quad (2.9)$$

Jelikož se jedná o výkonový tranzistor v pouzdře TO-3, může být jeho maximální provozní teplota dle katalogu 200°C, a jelikož bude tranzistor umístěn mimo DPS, je možné počítat s teplotou okolí 35° C. Bude zvolen chladič s teplotním koeficientem menší jak 5,5 K/W.

2.7 Výpočet chlazení pro regulovatelný zdroj

Regulovaný prvek v obvodu jsou dva výkonové tranzistory 2N3055, na nichž v nejhorším případě, kdy bude výstupní proud maximální a výstupní napětí minimální, bude ztrátový výkon 48 W (změřeno v simulaci).

$$R_{TQ4+Q5} = \frac{\Delta t}{P} = \frac{t_j - t_a}{P} = \frac{200 - 35}{96} = 1,71 \frac{K}{W} \quad (2.10)$$

Jelikož bude zdroj vybaven ventilátorem, který odvod tepla na chladiči vylepší, bude použit chladič s teplotním koeficientem 2,4 K/W.

2.8 Výběr chladiče

Vypočtené hodnoty jsou pro chlazení bez ventilátoru, při osazení krytu ventilátorem se průtok vzduchu zlepší a můžeme volit chladiče s větším teplotním koeficientem.

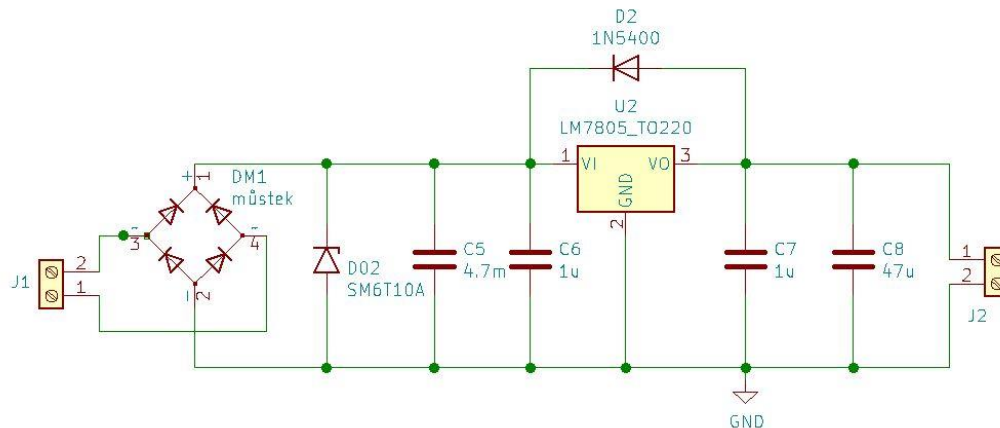
Tabulka 1.3: Přehled zvolených chladičů

Součástka	Ztrátový výkon	Teplotní koef. chladiče
78S05	20 W	4,8 K/W
MJ2955	30 W	2,4 K/W
2x 2N3055	96 W	2,4 K/W

3 Schéma zapojení a popis činnosti

Třetí kapitola je věnovaná popisu jednotlivých zapojení. Pro kreslení schémat je použit program KiCad, který má výhodu, že je možné přenést nakreslené schéma do editoru DPS.

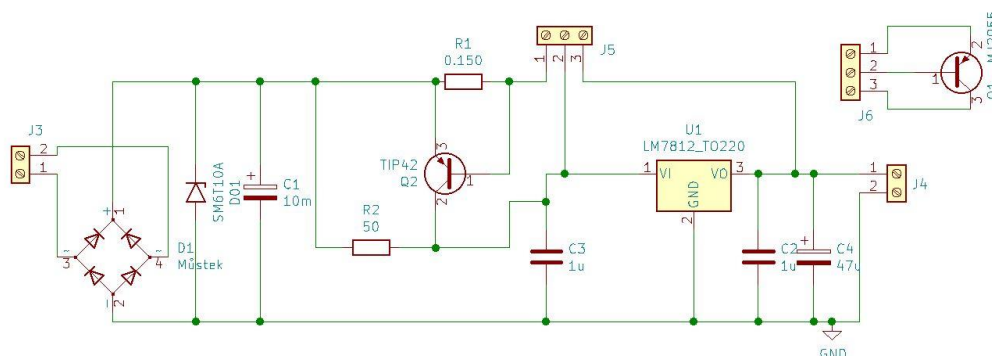
3.1 Popis činnosti zapojení pro stabilizovanou větev 5 V



Obrázek 3.1: Schéma zapojení zdroje 5 V

Síťové napětí se nejprve transformuje na 15 V pomocí transformátoru. Poté se pomocí můstkového usměrňovače usměrní na hodnotu přibližně 19,4 V stejnosměrných a vyhladí se filtračním kondenzátorem C5. Následně se pomocí integrovaného stabilizátoru U1 stabilizuje na požadovanou hodnotu 5 V. Na výstupu je pak vyhlazovací kondenzátor C8, který slouží k finálnímu vyhlazení výstupního napětí a proudu. Kondenzátory C6 a C7 pak slouží jako ochrana proti rušení pro stabilizátor a v reálném zapojení musí být umístěny co nejblíže stabilizátoru. Ochranná dioda D2 slouží k ochraně stabilizátoru v případě zkratu na vstupu. Na svorkovnici J1 je připojen výstup transformátoru a svorkovnice J2 je připojena na výstupní svorky zdroje.[4]

3.2 Popis činnosti zapojení pro stabilizovanou větev 12 V

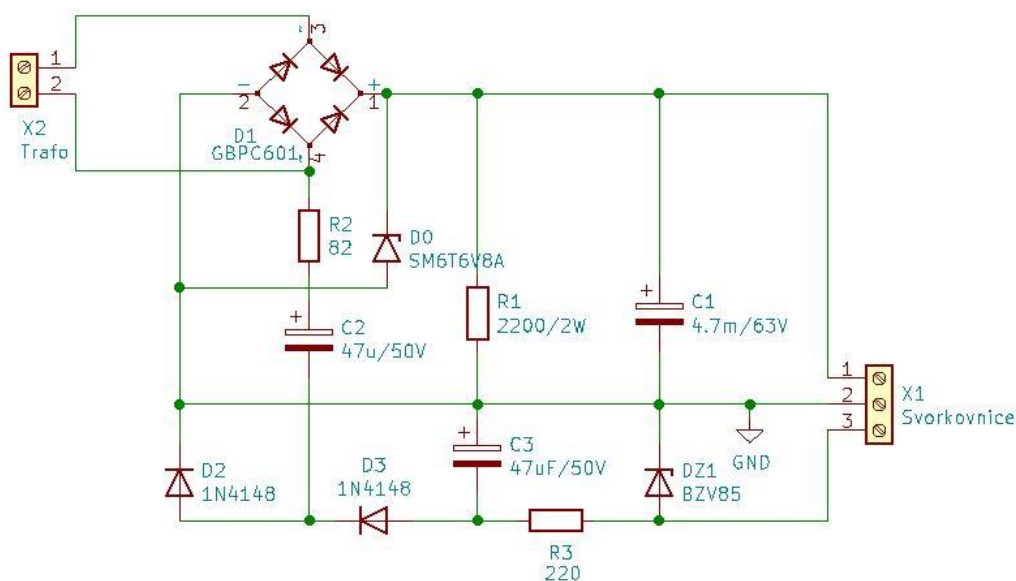


Obrázek 3.2: Schéma zapojení 12 V

Zapojení pro stabilizovanou větev 12 V funguje podobně jako předchozí obvod s tím rozdílem, že potřebujeme pracovat s vyšším proudem a musíme tedy obvod proudově posílit. Z toho důvodu je zde použit výkonový tranzistor Q1 ke zvýšení maximálního možného proudu až na 5 A. Přes výkonový tranzistor Q1 pak teče skoro veškerý proud. Tranzistor Q2 společně s odporem R3 slouží jako proudová pojistka, kdy se na odporu R3 se zvyšujícím proudem bude zvyšovat napětí. Když proud přesáhne hodnotu 4 A, napětí na odporu už bude dostatečně velké a tak sepnou (otevře) tranzistor Q2, který odpojí tranzistor Q1 a zabrání tak jeho zničení. Odpor R2 pak slouží k nastavování proudu tranzistorem Q1. V případě, že však omezíme odporem R2 proud procházející tranzistorem Q1, bude to mít za následek zvýšení proudu ve stabilizátoru, což je v tomto případě nežádoucí. Napětí je pak stabilizováno integrovaným stabilizátorem 7812, jehož výstupní napětí je 12 V. Kondenzátory C2 a C3 pak slouží jako ochrana proti rušení pro stabilizátor. Kondenzátor C1 slouží k vyhlazení průběhu usměrněného napětí a kondenzátor C4 k vyhlazení výstupního napětí. Na svorkovnici J3 je připojen výstup transformátoru a svorkovnice J4 je připojena na výstupní svorky zdroje.[3]

3.3 Popis činnosti regulovatelného zdroje

Schéma zapojení regulovatelného zdroje je rozděleno na dvě části. První část je obvod pro usměrnění a filtraci napětí a vytvoření záporného napětí pro druhou část. Ve druhé části je popsána funkce zapojení regulovaného zdroje s regulací napětí od 0 do 30 V a s proudovým omezením od 0 do 3 A.



Obrázek 3.3: Schéma zapojení I. část regulovaného obvodu

Výstupní napětí z transformátoru je přivedeno na vstupní svorky. Následně je usměrněno pomocí můstkového usměrňovače D1. Pomocí diod D2 a D3 a rezistoru R2 a kondenzátoru C2 je vytvořeno záporné napětí, které je stabilizováno pomocí zenerovy diody DZ1 na hodnotu 5,6 V. Odpor R1 s kondenzátorem C1 slouží k vyhlazení usměrněného průběhu napětí. Kladné napětí je

přivedeno na výstupní svorkovnici X1 na pin 1, nulový potenciál je přiveden na pin číslo 2 a záporné napětí 5,6 V je přivedeno na pin číslo 3. [6]

Druhá část zapojení je pro její velikost umístěna do přílohy B. Zapojení 2 části je realizováno pomocí třech operačních zesilovačů TL071 a ke kontrole výstupního napětí používá konstantní zesilovač realizovaný právě pomocí TL071. Výstup referenčního napětí je na výstupu IO1. Napětí na výstupu IO1 se zvyšuje, dokud nesepe dioda D4. V případě, kdy je sepnuta dioda D4, se obvod stabilizuje a napětí zenerovy diody se objeví na odporu R5, který společně s odporem R6 tvoří dělič. Napětí na výstupu OZ IO2 je pak 2x 5,6 V (napětí na odporech R5 a R6). IO1 pracuje jako zesilovač, který zesiluje napětí z výstupu IO2 a jeho zesílení je nastaveno pomocí odporu R10 a R11 a je dáno vztahem

$$A = \frac{R_{10}+R_{11}}{R_{11}} = \frac{27k+54k}{27k} = 3 \quad (3.1)$$

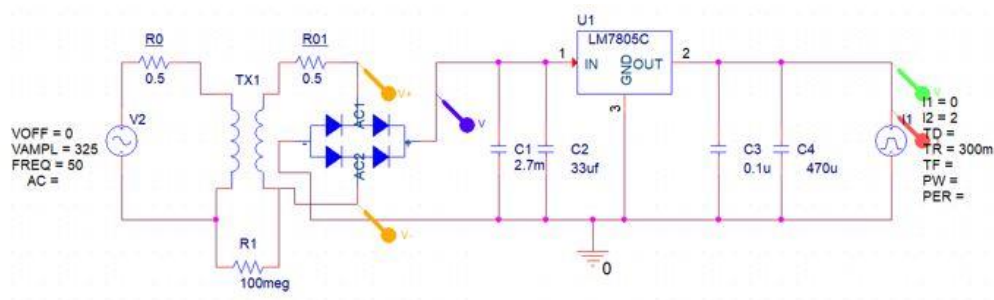
Referenční napětí je zvýšeno z 11,2 V na 33,6 V. Trimr R25 s rezistorem R9 upravuje off set obvodu, takže před prvním použitím je nutné ho nastavit tak, aby hodnota napětí při nastavení potenciometru regulujícího napětí do krajní polohy byla rovna 0.

Proudové omezení se nastavuje na potenciometru, který je připojen na neinvertující vstup IO1. Obvod snímá úbytek napětí na rezistoru R7, kterým teče veškerý proud obvodu a je spojený pomocí rezistoru R21 na invertující vstup IO1. Pokud se úbytek na R7 zvýší nad nastavenou hodnotu pomocí potenciometru, zareaguje pojistka a přes diodu D4 se omezí výstupní napětí zdroje pomocí IO3. Tímto způsobem je udržován konstantní proud na výstupu obvodu. Tranzistor Q3 rozsvítí LED, v okamžiku, kdy je proudové omezení aktivní a jeho pracovní bod je nastaven rezistory R18 a R19. Tranzistor Q1 zajišťuje ochranu obvodu při ztrátě záporného napětí a zároveň slouží k potlačení napěťových špiček při zapnutí. Odpory R13 a R12 slouží k nastavení pracovního bodu Q1. Tranzistor Q2 řídí výkonové tranzistory Q4 a Q5 (regulační prvky obvodu) na jejich emitorové výstupy jsou připojeny odpory R22 a R23 které slouží k eliminaci rozdílu parametrů tranzistoru a dojde tedy k rovnoměrnému rozložení výkonu na oba tranzistory. Kondenzátory v zapojení přispívají k lepší stabilitě obvodu. [6]

4 Simulace a ověření funkčnosti

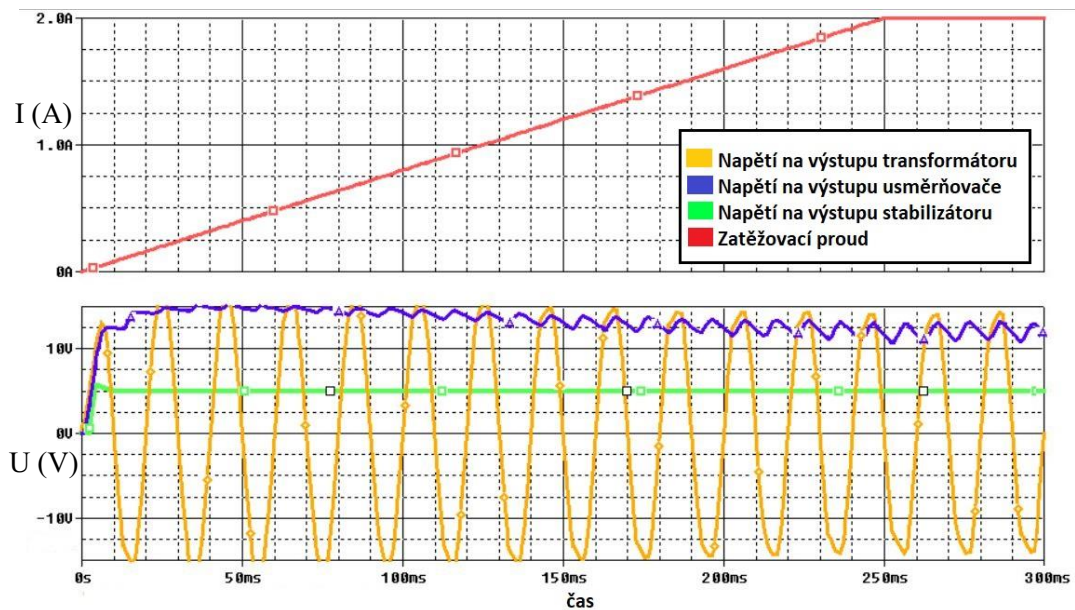
V následující kapitole bude ověřena funkčnost jednotlivých zapojení, která byla popsána v předešlé kapitole. Simulace probíhaly v programu PSPICE. Byly provedeny vždy 3 základní simulace a to: simulace výstupního stabilizovaného napětí při maximálním proudu obvodu, simulace ztrátového výkonu na regulovaných součástkách a simulace proudové ochrany při překročení maximálního možného proudu na výstupu. Typ simulace je vždy zvolen analýza v časové oblasti tzv. Transient a jako zátěž byl zvolen zdroj proudu. Pro zobrazení průběhu napětí za usměrňovačem a výstupního napětí za stabilizátorem byly použity napěťové sondy, které měří napětí vůči zemi. Pro měření napětí na výstupu transformátoru, jsou vhodné napěťové sondy, které měří napětí mezi danými body. Měření zatěžovacího proudu je realizováno pomocí proudové sondy, která se musí, umístit na vstup nebo výstup dané součástky. Pro měření ztrátových výkonů byly použity výkonové sondy, které se umísťují přímo na součástku. Výjimku tvoří poslední zapojení regulovaného zdroje, kde kvůli jeho složitosti byla zvolena analýza Bias Point a zobrazeny hodnoty napětí a proudu v důležitých částech obvodu.

4.1 Simulace stabilizované větve 5 V



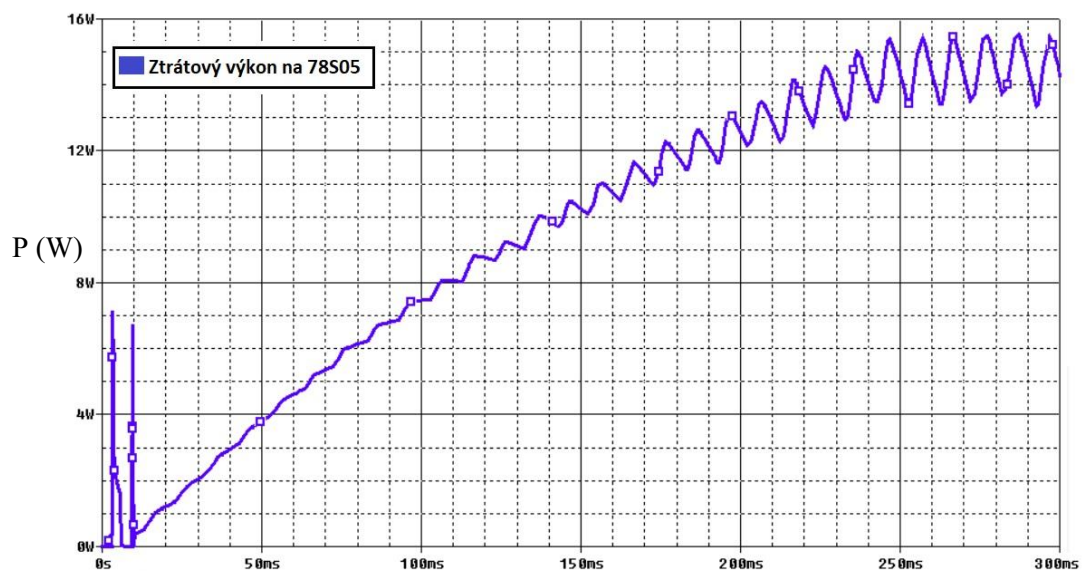
Obrázek 4.1: Schéma zapojení pro simulaci 5 V

Na obrázku 4.1 je schéma zapojení pro simulaci stabilizovaného výstupu 5 V. Jsou zde měřeny průběhy napětí za transformátorem, za usměrňovačem a výstupní napětí při maximálním proudu zátěži 2 A pomocí napěťových a proudových sond.



Obrázek 4.2: Průběhy napětí při maximálním zatížení

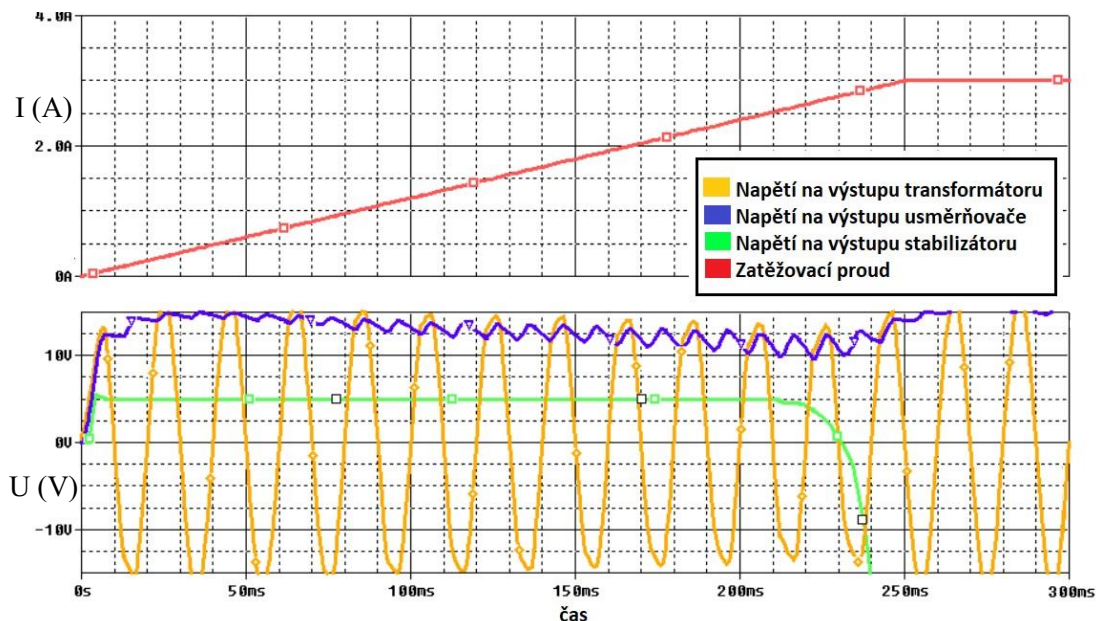
Na obrázku 4.2 jsou zobrazeny průběhy jednotlivých napětí v obvodu při maximálním možném proudu zátěží 2 A. Oranžový průběh je napětí na výstupu transformátoru, dále modré napětí představuje usměrňené napětí za usměrňovačem, jehož hodnota odpovídá přibližně 15 V. Zelený průběh je výsledné výstupní napětí za stabilizátorem, které má velikost 5 V. Červený průběh zobrazuje průběh proudu zátěží.



Obrázek 4.3: Ztrátový výkon na stabilizátoru 78S05

Na obrázku 4.3 je zobrazen průběh ztrátového výkonu na integrovaném stabilizátoru 7805 pro maximální proud 2 A. Ztrátový výkon odpovídá přibližně hodnotě 15,5W. V reálném zapojení

byl nakonec zvolen transformátor s vyšším napětím, a ztrátový výkon je tedy o něco vyšší a je přibližně roven 21 W.

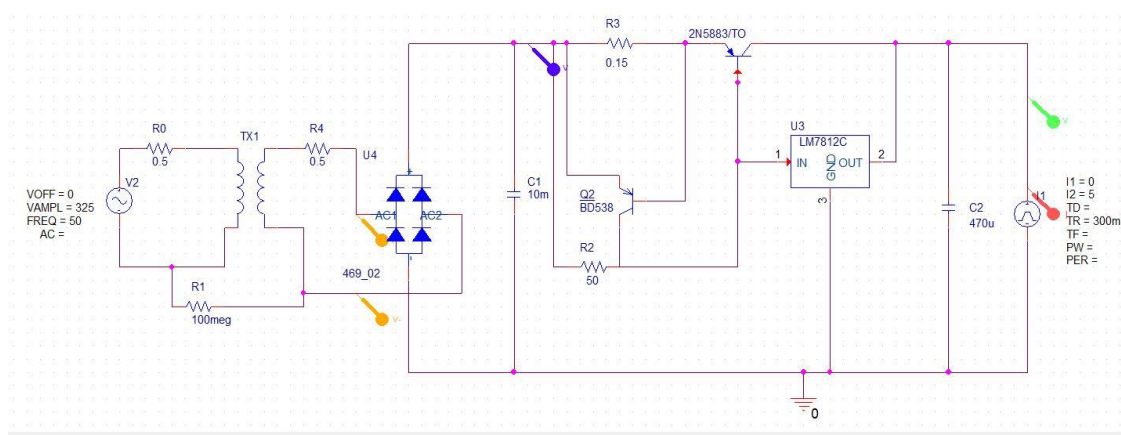


Obrázek 4.4: Proudová ochrana obvodu

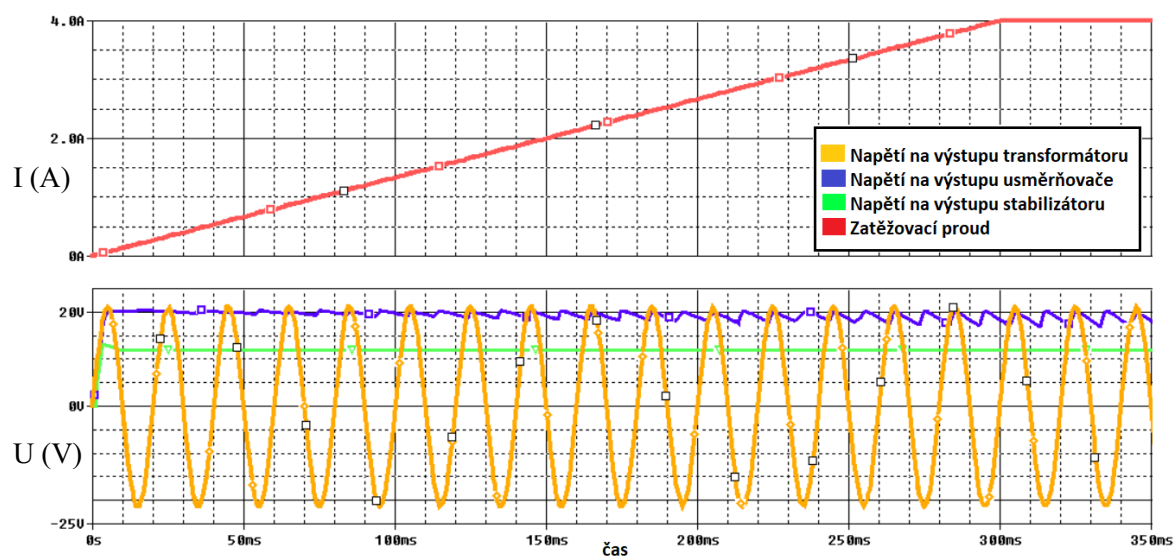
Na obrázku 4.4 je ověřena funkce proudové ochrany, kdy při zvyšování proudu zátěží nad 2 A (červený průběh) prudce pokleslo výstupní napětí (zelený průběh). V případě nadproudu na výstupu je proudová ochrana funkční.

Z výše zobrazených průběhu bylo ověřeno, že dané zapojení je funkční a je možné ho realizovat.

4.2 Simulace stabilizované větve 12 V

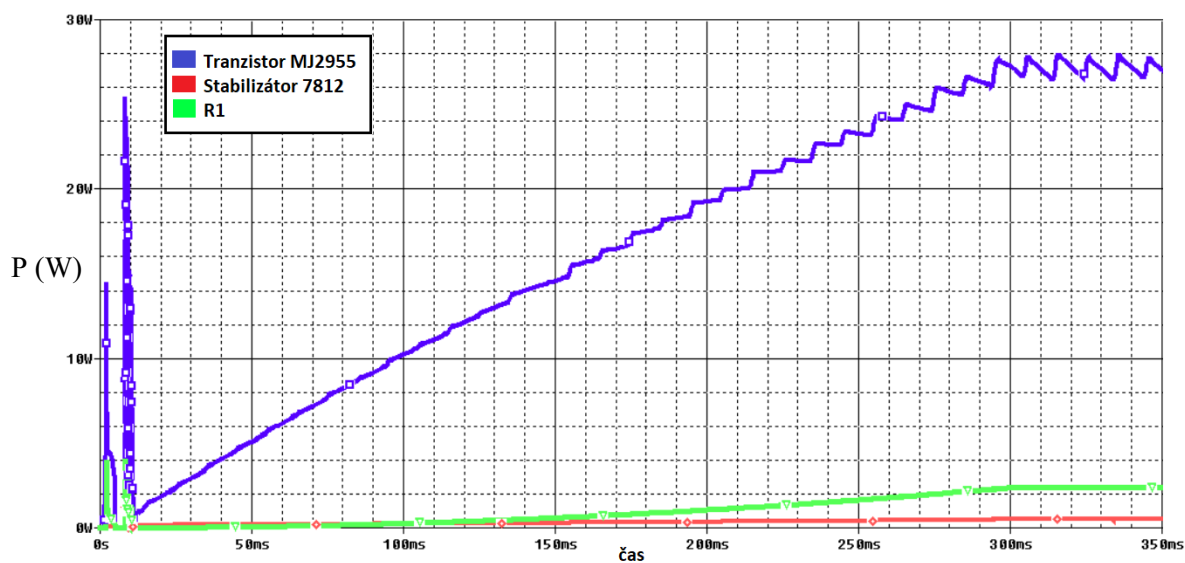


Obrázek 4.5: Schéma zapojení pro simulaci 12 V



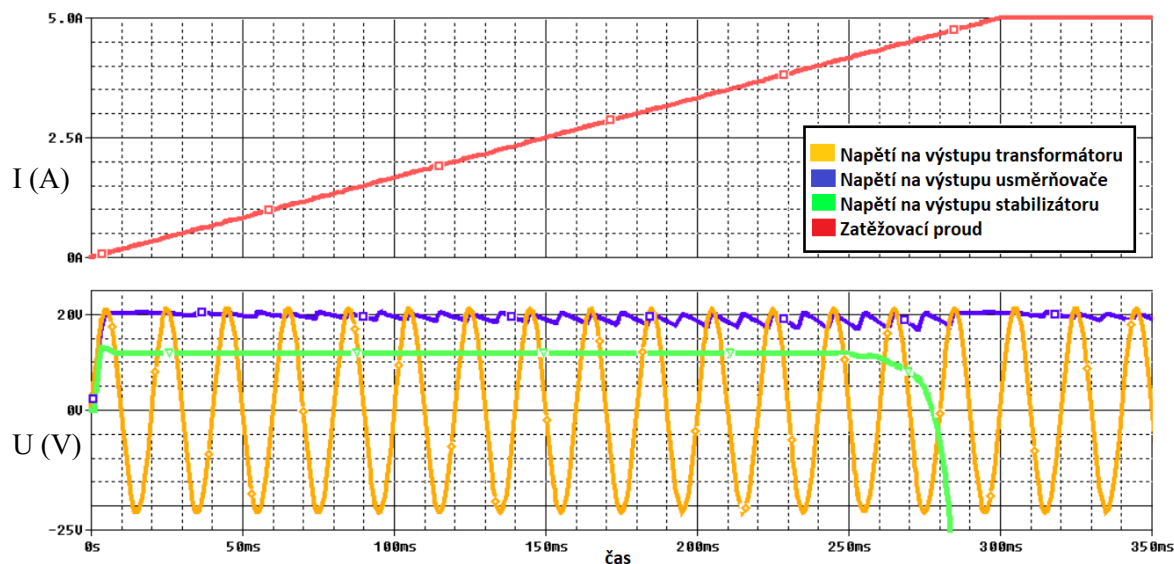
Obrázek 4.6: Průběhy napětí a proudu stabilizovaného výstupu 12 V

Na obrázku 4.6 jsou zobrazeny průběhy napětí na výstupu transformátoru (oranžový průběh), po usměrnění (modrý průběh) a výstupní stabilizované napětí 12 V (zelený průběh). Průběh maximálního proudu je znázorněn červenou barvou.



Obrázek 4.7: Ztrátové výkony, na jednotlivých součástkách

Na obrázku 4.7 jsou zobrazeny průběhy ztrátového výkonu na tranzistoru Q1 (modrý průběh) a stabilizátoru 7812 (červený průběh). Z průběhu lze určit, že ztrátový výkon na stabilizátoru je minimální a nebude potřebovat chlazení. Naopak na výkonovém tranzistoru vznikají ztráty až 28 W a bude nutné zvolit vhodné chlazení. Dále je zobrazen ztrátový výkon na rezistoru R1, který je přibližně roven hodnotě 4 W (zelený průběh). Na ostatních součástkách nejsou ztrátové výkony zobrazeny, jelikož jsou velmi malé a znehlednily by zobrazené průběhy.

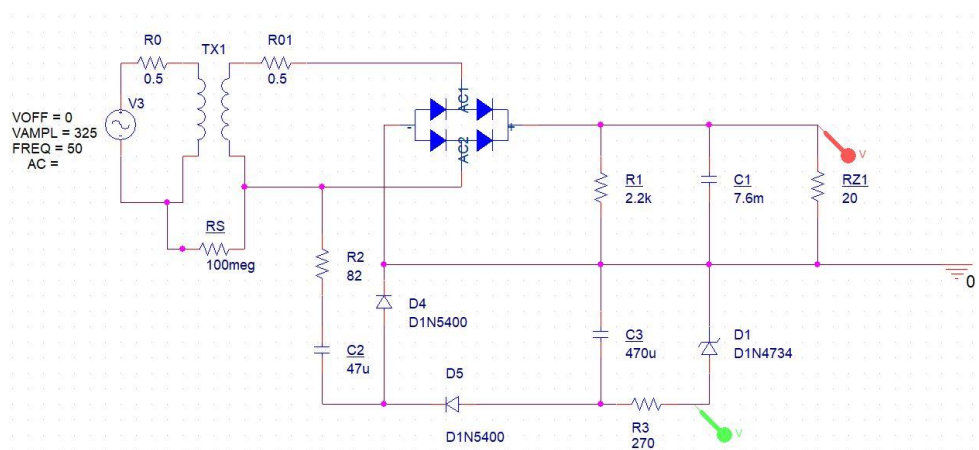


Obrázek 4.8: Proudová ochrana obvodu

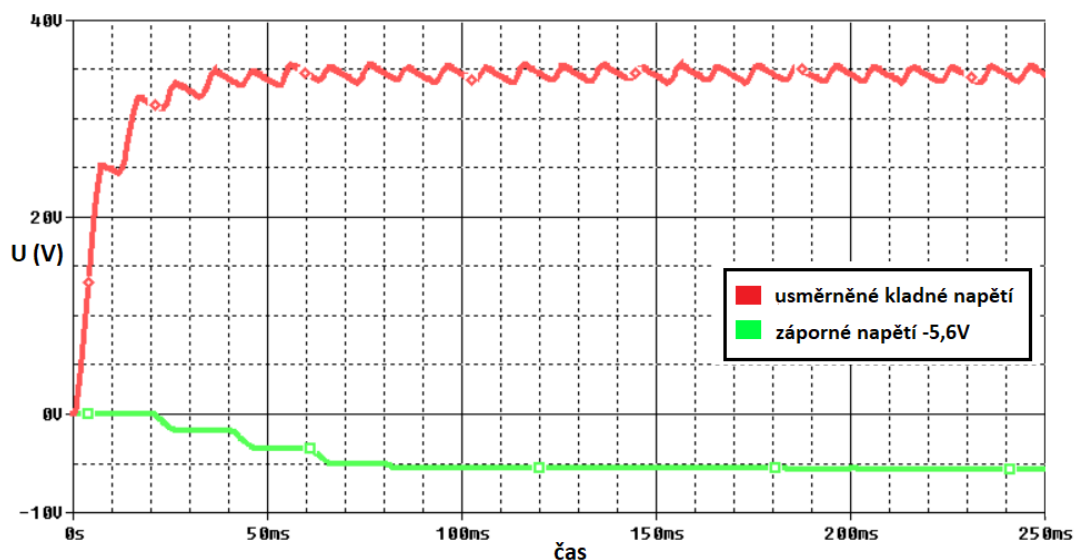
Na obrázku 4.8 je provedeno ověření proudové ochrany, kdy při překročení 5A dojde ke zvýšení úbytku na rezistoru R3 a tranzistor Q2 odpojí tranzistor Q1 a výstupní napětí (zelený průběh) poklesne.

4.3 Simulace regulovatelného zdroje

Zapojení regulovatelného zdroje je ze všech zapojení nejsložitější a bylo rozděleno na 2 části. V první části bude od simulovaný obvod pro vytvoření kladného a záporného napětí pro napájení druhé části. V Druhé části už není provedena simulace v čase ale pouze analýza Bias Point, která je pro daný případ přehlednější.



Obrázek 4.9: Schéma pro simulaci vytvoření kladného a záporného napětí

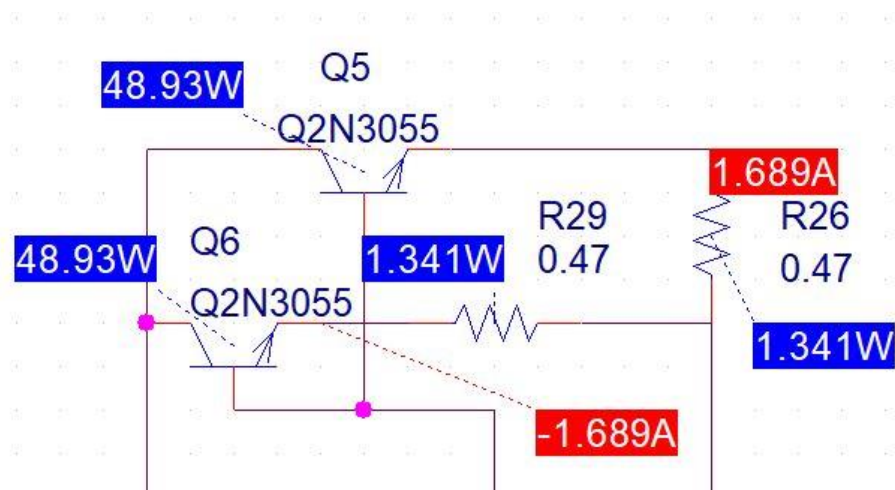


Obrázek 4.10: Průběhy vytvořeného kladného a záporného napětí

Na obrázku 4.10 je ověřeno, že kladné napětí po usměrnění a filtraci má hodnotu přibližně 35 V a vytvořené záporné napětí pomocí zenerovy diody D1 odpovídá hodnotě 5,6 V.

V simulaci byla také ověřena funkce hlavního obvodu regulovatelného zdroje, tyto simulace jsou součástí přílohy C. Potenciometr nastavující výstupní napětí POTU je nastaven na půlku, což odpovídá přibližně hodnotě 17 V. Potenciometr nastavující proudové omezení (POTI) byl nastaven na půlku a odpovídá maximálnímu proudu přibližně 1,9 A. Jako zátěž byl zvolen rezistor s odporem 17 Ω . Výsledný proud obvodu je tedy 1 A. Dále je ověřeno, že všechny proud obvodu protéká rezistorem R7 a výkonovými tranzistory Q5 a Q6, na kterých se díky emitorovým odporům R26 a R29 rovnoměrně rozloží. Na dalším obrázku je ověřena funkce proudové ochrany. Potenciometry nastavující výstupní proud a proudové omezení jsou nastaveny stejně jako v předešlém případě, pouze hodnota odporu zátěže RZ byla zmenšena na 5 Ω . To má za následek, že proud obvodu nepřesáhne nastavených 1,9 A a sníží se výstupní napětí. Ze simulace byl

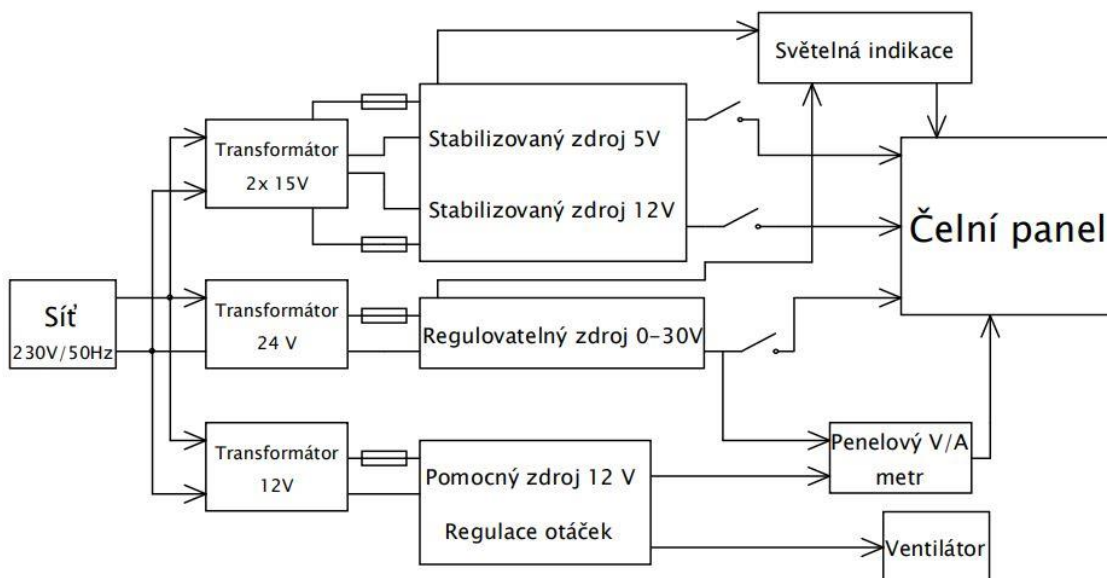
odstraněn potenciometr a odpor, který je v reálném zapojení připojen na piny 1 a 5 IO3 a slouží k nastavení offsetu zdroje (nastavení nuly), simulace však tyto piny ignoruje, a proto zde nejsou zapojeny. V simulaci bylo ještě dále zjištěno, že ztrátový výkon na tranzistorech je v nejhorším případě roven přibližně 50 W a bude tedy nutno zvolit dostatečné chlazení.



Obrázek 4.11: Ztrátový výkon na regulačních tranzistorech a jejich odporech

5 Realizace zapojení

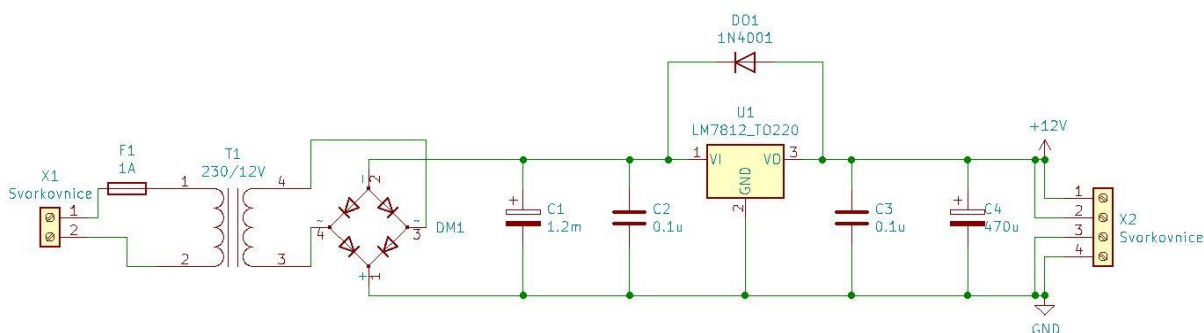
Tato kapitola se zabývá popisem pomocných obvodů a následně výrobou DPS jednotlivých bloků.



Obrázek 5.1: Blokové schéma zdroje

5.1 Pomocné obvody

Jelikož se jedná o laboratorní zdroj, tak se výstupní napětí a proud bude zobrazovat na předním panelu na displeji. Z toho důvodu musí být realizován pomocný zdroj, který bude sloužit k napájení panelového měřidla a také k napájení ventilátoru, který bude nutný, aby se zdroj správně chladil.

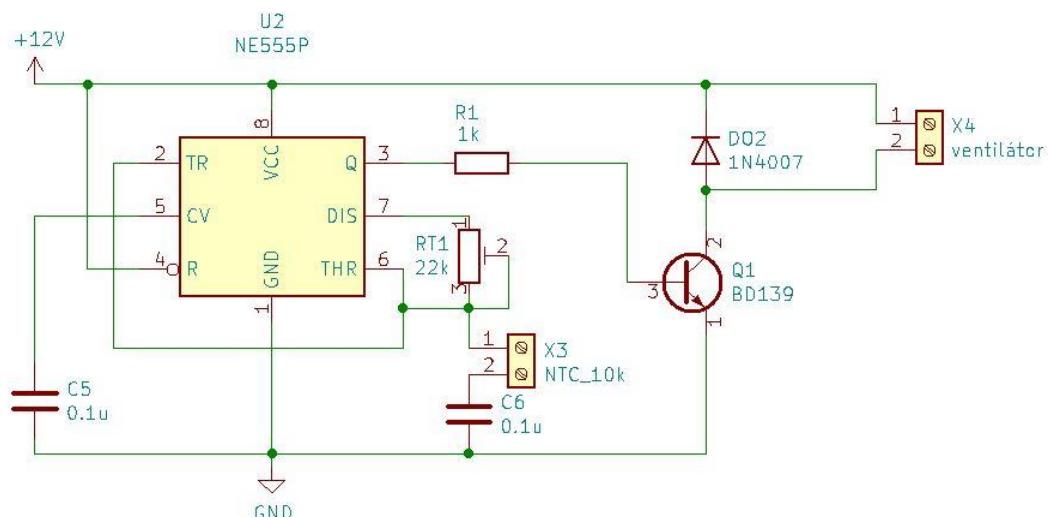


Obrázek 5.2: schéma pomocného zdroje

Na obrázku je schéma zapojení pro pomocný zdroj 12 V. Realizace je velmi jednoduchá. Střídavé napětí z transformátoru, který bude umístěn přímo na DPS, se usměrní pomocí můstkového usměrňovače D1. Usměrněné napětí se pak pomocí integrovaného stabilizátoru 7812 stabilizuje na hodnotu 12 V. Dioda D01 slouží k ochraně stabilizátoru. Filtrační kondenzátor C1

slouží k vyhlazení napětí po usměrnění. Kondenzátory C2 a C3 slouží k potlačení rušení na stabilizátoru a musí být umístěny co nejbližší stabilizátoru. Kondenzátor C4 slouží k vyhlazení výstupního napětí za stabilizátorem. Transformátor volím s výstupním napětím 15 V a maximálním proudem 633 mA. Výkon transformátoru je 10 VA.

Další obvod slouží k regulaci otáček ventilátoru, jelikož není nutné, aby se ventilátor stále točil, i když není obvod zatížen.



Obrázek 5.3: Schéma zapojení regulátoru otáček ventilátoru

Velikost otáček ventilátoru závisí na velikosti tepelně proměnného odporu (NTC), který je připojen na svorkovnici X3 a samotný termistor je připevněn na chladič. Potenciometr R1 a termistor NTC s odporem 10k tvoří napěťový dělič. V případě, kdy se termistor začne zahřívat, hodnota jeho odporu klesá. Po klesnutí odporu na určitou mez se obvod tvořený časovačem 555 rozkmitá a výstupní impulsy spínají tranzistor Q1. Se snižujícím se odporem (stoupající teplotou) se kmity prodlužují a ventilátor tím zvyšuje své otáčky. Potenciometr RT1 slouží k přesnému nastavení teploty spínání.

Další pomocný obvod bude sloužit k indikaci zapnutí jednotlivých větví. LED bude zapojena na výstupní svorky stabilizovaných větví 5 a 12 V a u regulované větve bude připojena k výstupu svorkovnice první DPS. Jelikož se LED řídí proudově a na vstupu je větší napětí, řadí se vždy před LED odpor, kterým bude procházet stejný proud a vznikne na něm potřebný úbytek napětí, aby se LED nezničila. V případě, že by bylo použito dvou a více LED paralelně, musí se před každou dát do série odpor, jelikož každá dioda má trochu jiné parametry a v případě, kdy se zahřívá, snižuje svůj odpor, což by v případě zapojení dvou LED paralelně způsobilo, že by jednou diodou tekla větší proud než druhou a tento rozdíl by se postupně zvětšoval (s klesajícím odporem) až do doby, než by se dioda zničila. Odpory pro zelenou diodu 2,2-2,5 V, 20 mA počítám dle vztahů 5.1 až 5.3 (proud diodou volím 15 mA):

Pro zapojení stabilizovaného zdroje 5 V:

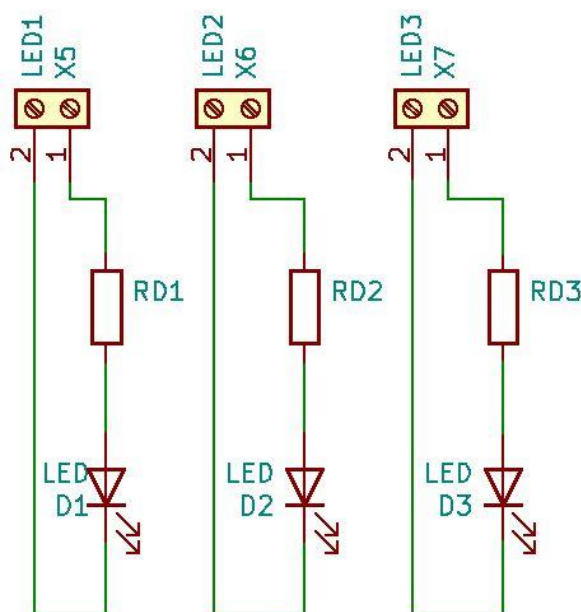
$$R_{D1} = \frac{U_{vys5V} - U_{LED}}{I_{LED}} = \frac{5 - 2,3}{0,015} \approx 180 \, \Omega \quad (5.1)$$

Pro zapojení stabilizovaného zdroje 12 V:

$$R_{D2} = \frac{U_{vys12V} - U_{LED}}{I_{LED}} = \frac{12 - 2,3}{0,015} \approx 680 \, \Omega \quad (5.2)$$

Pro zapojení regulovaného zdroje:

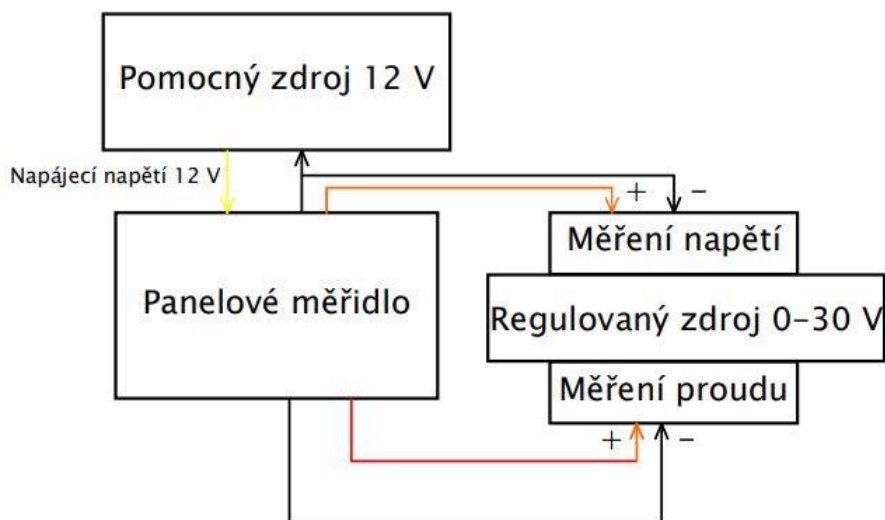
$$R_{D3} = \frac{U_{out25V} - U_{LED}}{I_{LED}} = \frac{35 - 2,3}{0,015} \approx 2200 \, \Omega \quad (5.3)$$



Obrázek 5.4: Schéma zapojení LED

5.2 Panelové měřidlo

Pro měření výstupního proudu a napětí je použito univerzální panelové měřidlo, které dokáže měřit výstupní napětí v rozsahu 0 až 100 V a výstupní proud 0 až 10 A. Hodnoty jsou zobrazeny na sedmi segmentovém displeji, který má tři pozice. Měřidlo má 5 vývodů. Tři napěťové vývody slouží k napájení měřidla a k měření výstupního napětí, kdy záporný vývod je pro tyto svorky společný. Další 2 výstupy slouží k měření proudu. Napájecí napětí měřidla může být v rozsahu 4,5 až 30 V. Pro kalibraci měření slouží dva trimery, jeden pro napětí a druhý pro proud.



Obrázek 5.5: Blokové schéma zapojení panelového měřidla

5.3 Ochranné prvky

Při používání zdroje může dojít k jevům, kterými by se zařízení mohlo poškodit a v případě napájecího zdroje by mohlo poškodit i další zařízení, která jsou napájena. Proto je nutné zdroj vybavit proudovými a napěťovými ochranami, které v případě poruchy zabrání poškození zařízení.

Pro nadproudovou ochranu se nejčastěji používá tavná nebo elektronická pojistka. Tavná pojistka funguje tak, že při nadměrném průchodu pojistkou dojde k zahřátí a přetavení tavného drátku. To způsobí přerušení a ochranu obvodu. Tavná pojistka má oproti elektronické pojistce několik nevýhod. První z nich je, že při ochraně obvodu se tavná pojistka zničí a je ji nutno vyměnit za novou. Další nevýhodou je že reakční doba je delší než například u elektronické pojistky a může tak dojít k nevratnému poškození IO. Výhodou je nízká cena a relativně jednoduchá instalace, kdy je možno pojistku přímo připájet na DPS nebo ji umístit do pouzdra, které je pro případnou výměnu vhodnější.

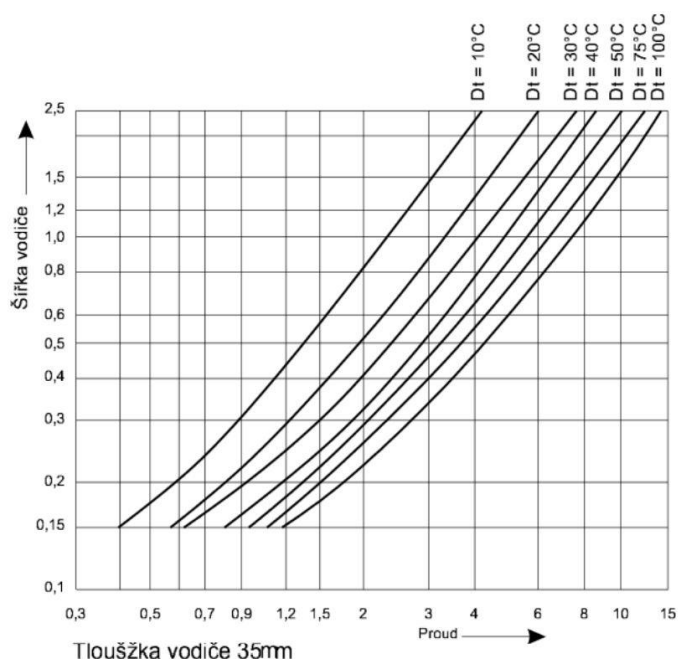
Pro ochranu obvodu proti přepětí se využívá několik druhů ochran, jako je napříkladbleskojistka, průrazka, vyfukovací trubice, varistor. V oblasti napájecích zdrojů se velmi často používá transil. Transil je polovodičová součástka, která je svou VA charakteristikou velmi podobná zenerově diodě. To znamená, že do určitého napětí je nevodivý a pro překročení prudce stoupne proud. Zapojují se paralelně k napájecím svorkám a vyrábějí se jak jednosměrné, tak obousměrné a dají se tedy použít i ve střídavých obvodech. Jmenovité napětí se pohybuje od cca 5V do 500 V a vyrábí se jak v pouzdře SMD tak v THT, kdy jejich pouzdro vypadá velmi podobně jako klasická křemíková dioda.

Neméně důležité je také to, aby nedocházelo k přehřátí celého zařízení. To je řešeno jednak tím, že použité IO mají v sobě zabudovanou tepelnou ochranu a v případě překročení dojde

k poklesu napětí a dále bude zdroj vybaven ventilátorem s regulátorem otáček, který by těmto stavům měl předcházet.

5.4 Výroba DPS

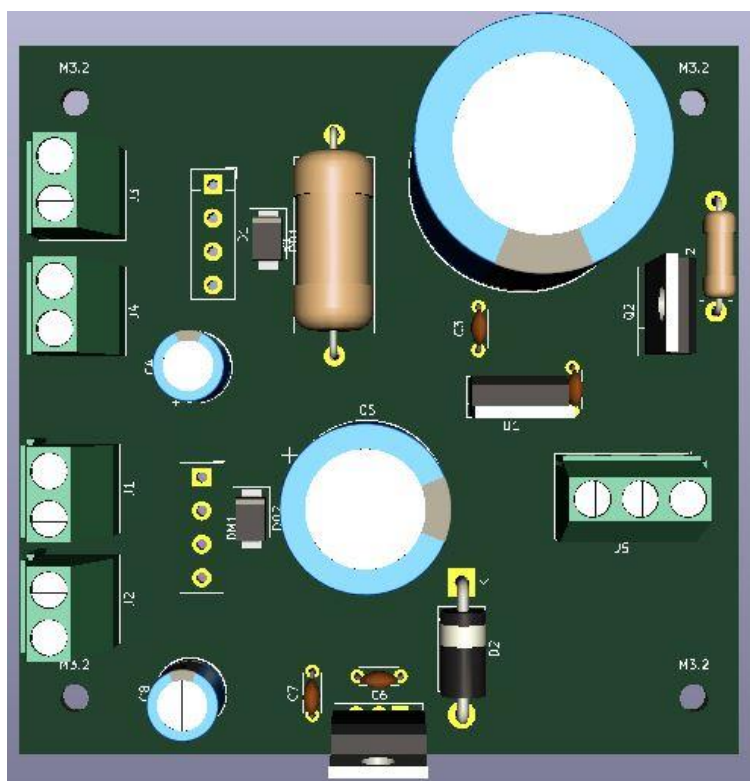
Každé elektronické zařízení, které není úplně triviální, obsahuje desky plošných spojů (DPS). Pro návrh profesionální DPS je nutné mít nejenom znalost daného programu pro návrh DPS, ale také především dlouhodobou praxi. Návrh DPS je proveden v programu KiCad, který je volně dostupný. U návrhu DPS je důležité dodržovat některá pravidla. V daném případě budou obvody procházet proudy až 4 A, je tedy nutné zvolit vhodnou šířku spoje, aby nedošlo ke zničení desky. Tato tloušťka bude zvolena podle následujícího obrázku.



Obrázek 5.6: Tabulka šířky vodiče pro dané proudy [7]

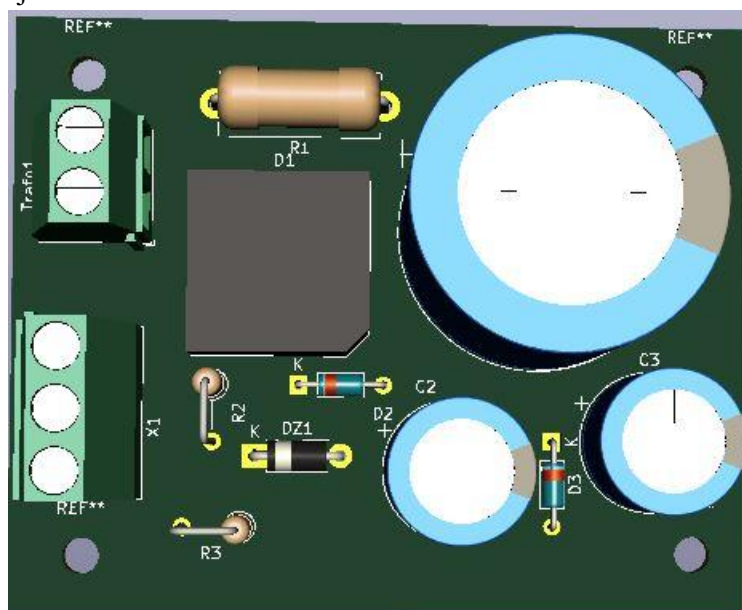
Další pravidlo, které je dobré dodržovat, je, aby úhly spojů nebyly pravé tedy 90°. To je z důvodů, že plocha průřezu plošného spoje není ve všech částech stejná, a to vede ke změně impedance (k útlumu šíření signálu plošným spojem). Tyto jevy jsou pak v ostrých rozích nejsilnější. Důležité je také dodržovat vhodné rozmístění součástek z hlediska teplotního namáhání a dále se snažit o co nejmenší desku a pouzdra součástek, aby náklady na výrobu byly co nejnižší.[7]

Na obrázku 5.7 je 3D návrh DPS pro zapojení stabilizovaného zdroje 5 a 12 V. Pro vytvoření většího místa v instalační krabici byly desky pro stabilizovaný zdroj 5 V a 12 V sloučeny do jedné. Tloušťka spoje byla zvolena 2 mm pro zapojení stabilizovaného zdroje 12 V a 1,5 mm pro druhé zapojení. Návrh DPS všech zapojení je součástí přílohy D.

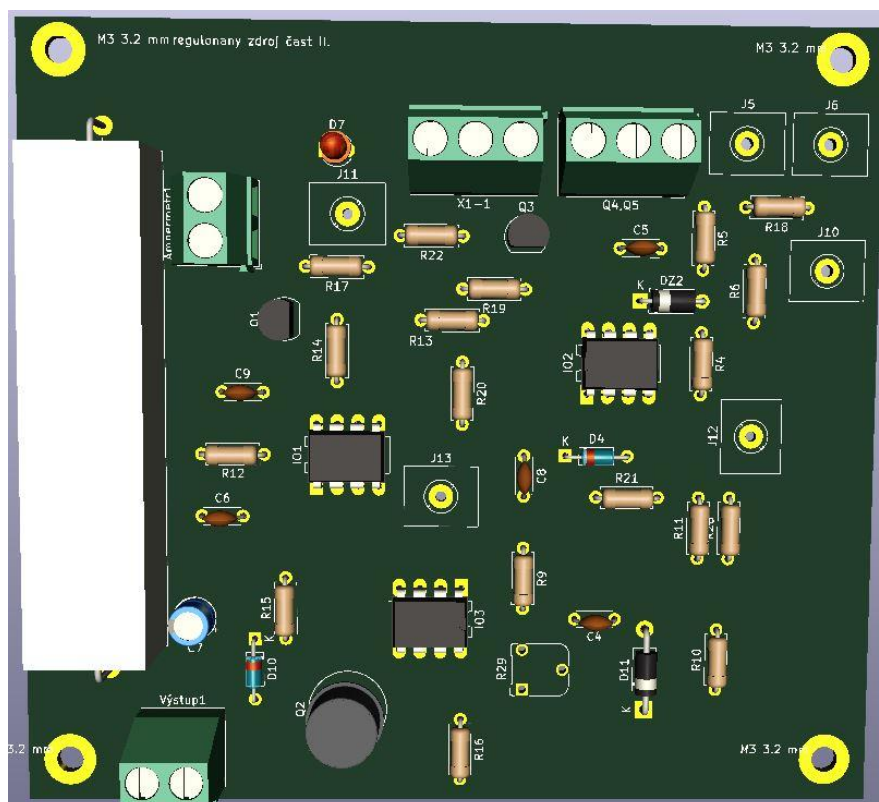


Obrázek 5.7: 3D návrh desky stabilizovaného zdroje

DPS pro regulovaný zdroj byla rozdělena na 2 části tak, aby bylo možné provést jednodušeji návrh jednostranné desky. Na první desce je obvod pro vytvoření usměrněného kladného a záporného napětí a na druhé je část s integrovanými obvody. Rozdělení na dvě části má také výhodu, že při oživení desky můžeme nejprve vyzkoušet funkci zapojení s IO a až poté ho můžeme připojit k druhé desce a k síti.

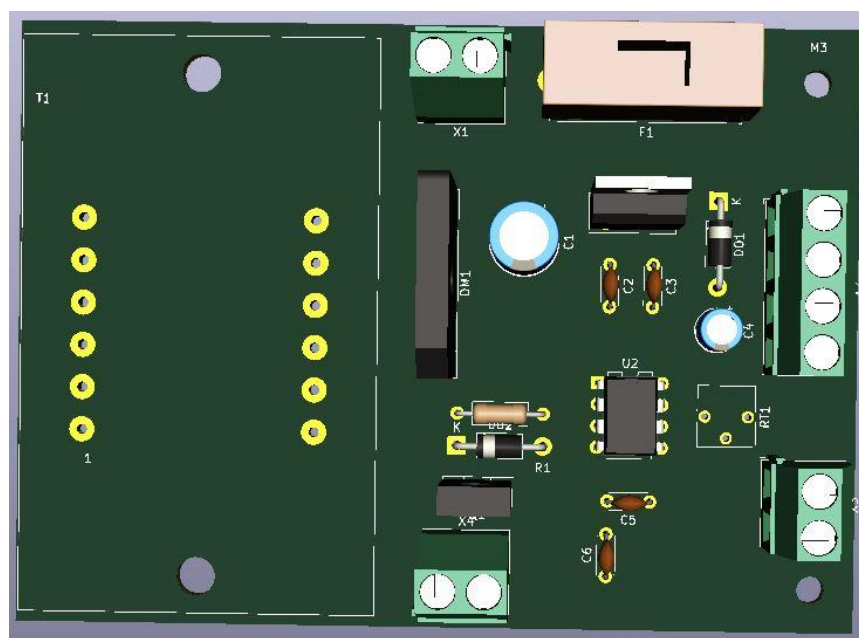


Obrázek 5.8: 3D návrh desky regulovatelného zdroje část I



Obrázek 5.9: 3D návrh desky regulovatelného zdroje část II

Poslední navrhnutá deska slouží k napájení panelového měřidla a k napájení a regulaci ventilátoru.



Obrázek 5.10: 3D návrh desky pomocného zdroje

5.5 Konstrukce krytu

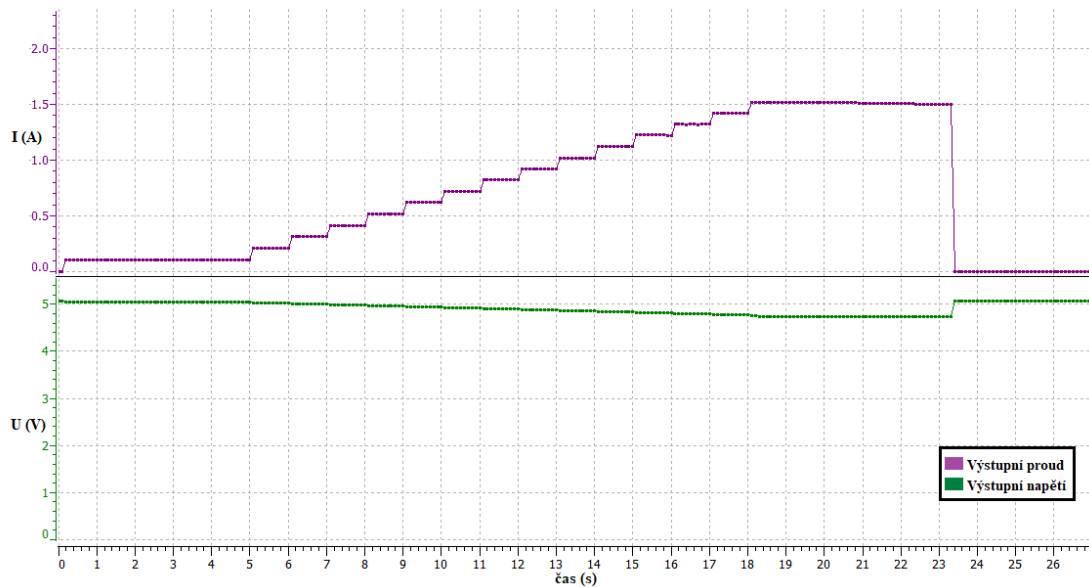
Všechny DPS a ostatní části byly uloženy, do na míru vyrobeného krytu z plechu a hliníku, který byl vyroben tak, aby v části kde jsou umístěny chladiče, byl co nejlepší průtok vzduchu a nedocházelo k přehřívání.



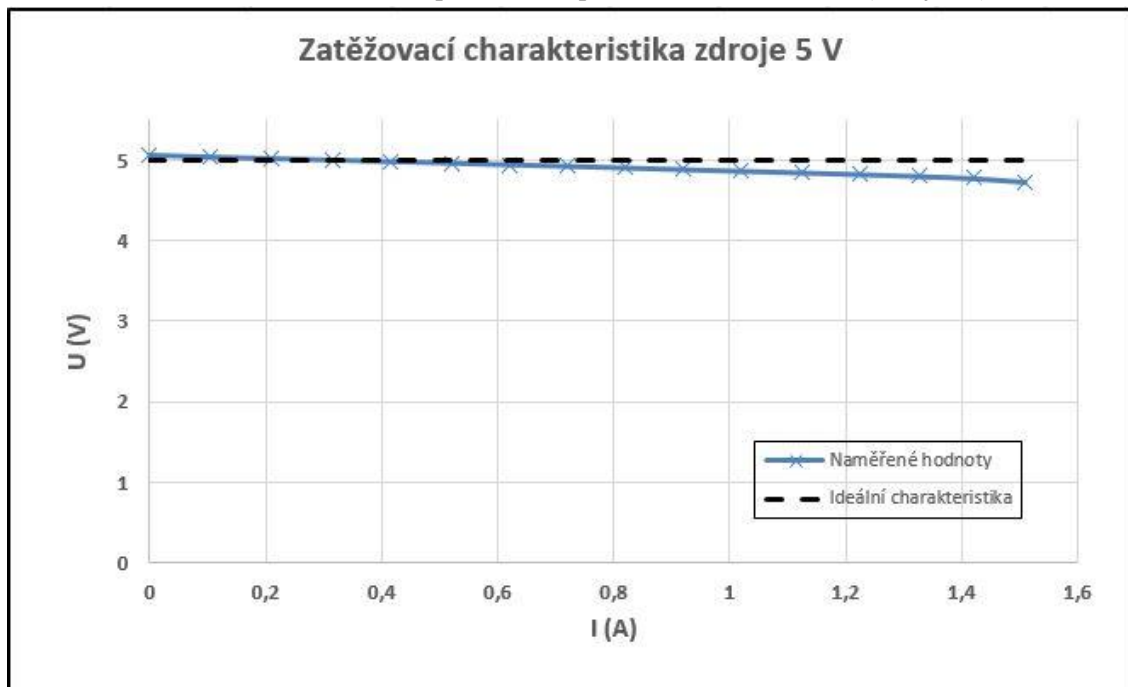
Obrázek 5.11: Kryt

6 Výstupní měření jednotlivých zapojení

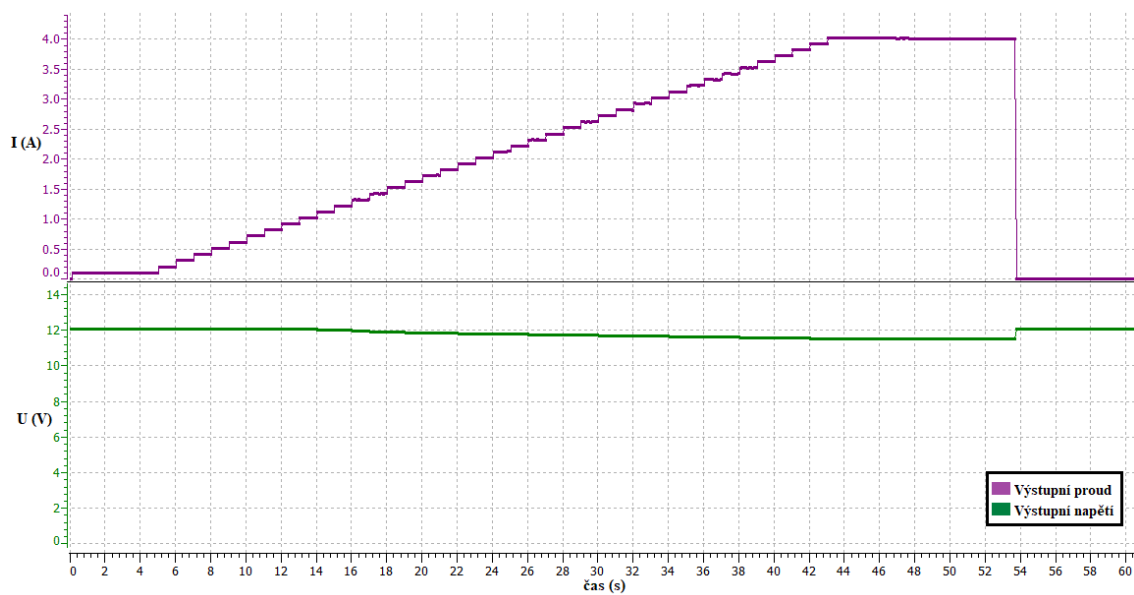
Měření zatěžovacích charakteristik bylo provedeno pomocí elektronické zátěže, která umožňuje simulaci proudové nebo odporové zátěže. Pro měření zatěžovacích charakteristik byl vytvořen jednoduchý program pro generování proudové zátěže od 0 po námi vybranou hodnotu. Naměřené hodnoty byly vyexportovány do souboru CSV a následně byly v programu Excel vytvořeny charakteristiky.



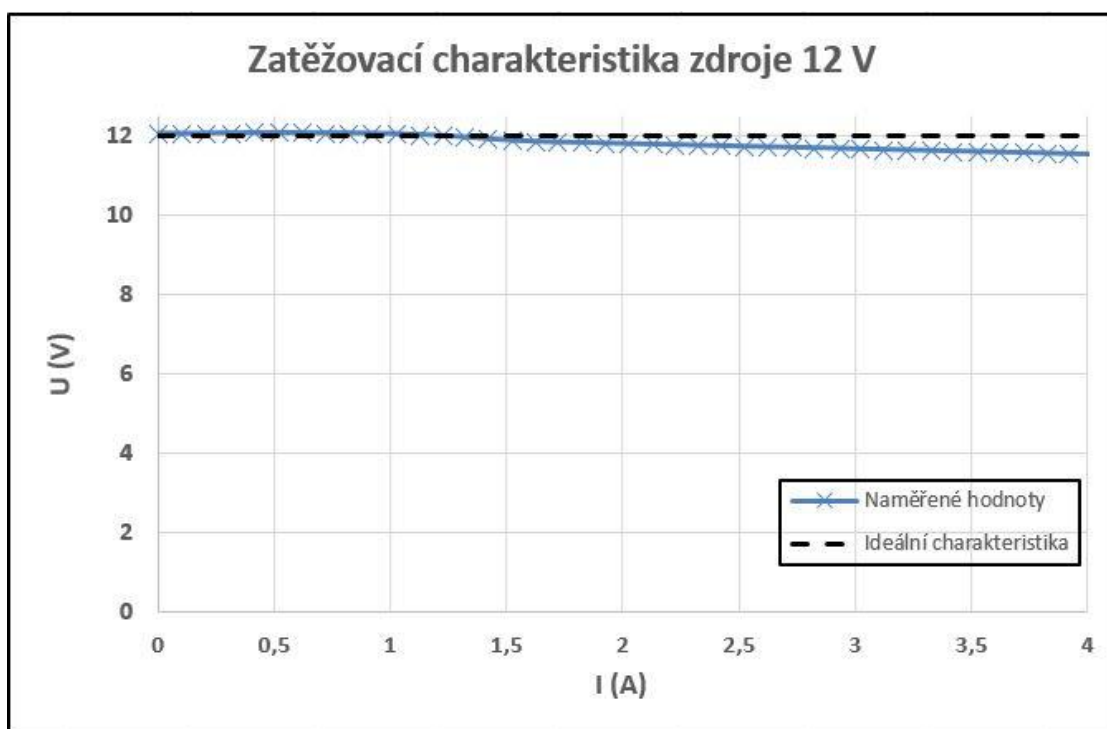
Obrázek 6.1: Průběh proudu a napětí v závislosti na čase (zdroj 5 V)



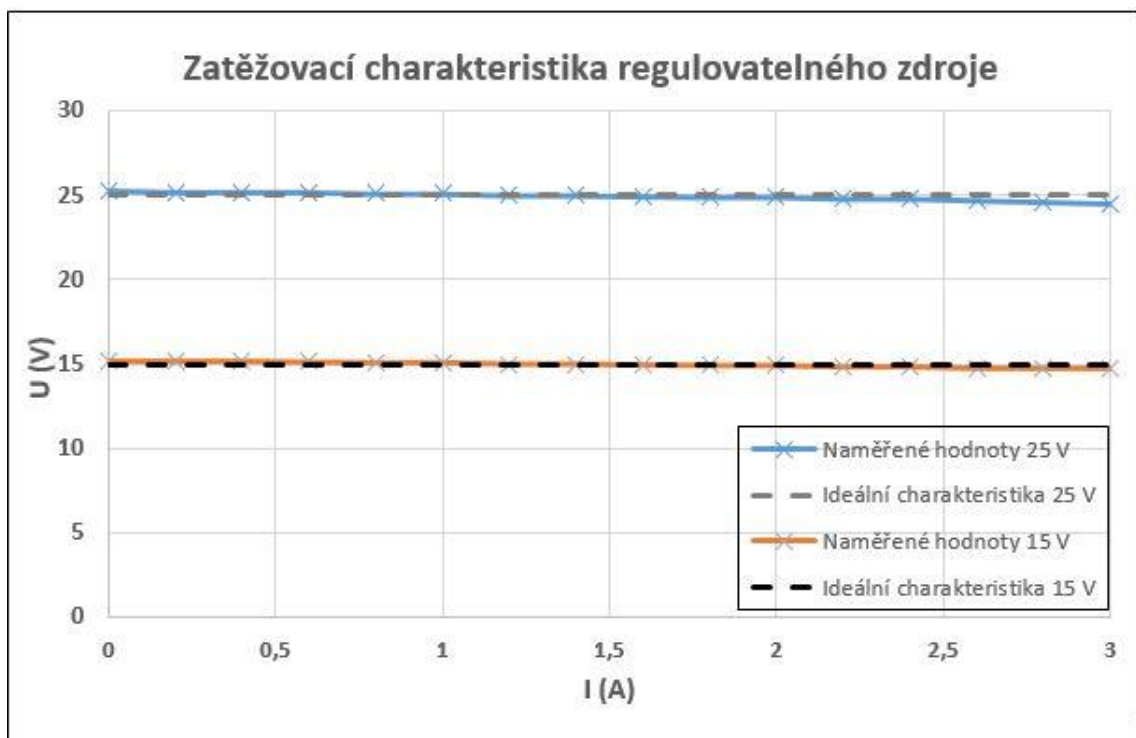
Obrázek 6.2: Zatěžovací charakteristika zdroje 5 V



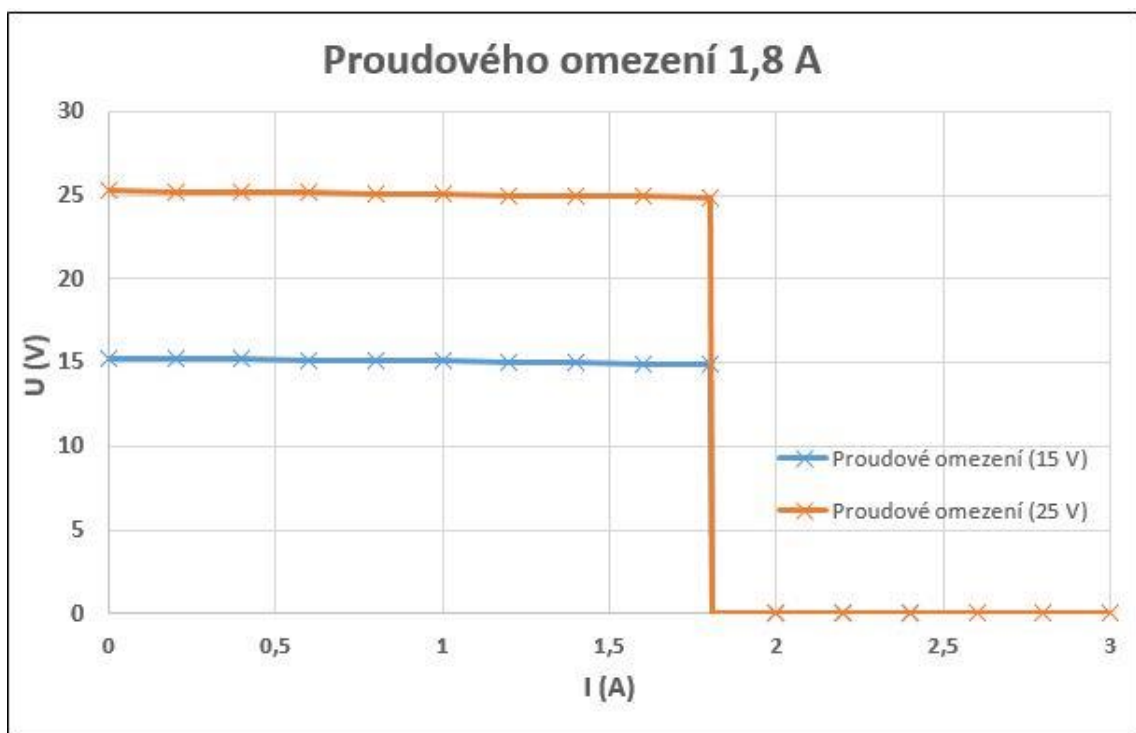
Obrázek 6.3: Průběh proudu a napětí v závislosti na čase (zdroj 12 V)



Obrázek 6.4: Zatěžovací charakteristika zdroje 12 V



Obrázek 6.5: Zatěžovací charakteristika regulovatelného zdroje



Obrázek 6.6: Ověření proudového omezení regulovatelného zdroje

7 Závěr

Cílem práce bylo navrhnout a následně realizovat laboratorní zdroj, který by měl sloužit k napájení automobilových elektronických systémů, ale je možné ho používat i k napájení jiných aplikací v laboratoři.

V první části byla provedena teoretická rešerše a úvod do dané problematiky. Druhá část se zabývá návrhem konkrétního zdroje, výpočtem součástek a chlazením jednotlivých zapojení. Ve třetí části je detailněji popsána funkčnost jednotlivých zapojení a v následující čtvrté části jsou tato zapojení odsimulována a je ověřena jejich funkčnost. Pátá část je věnována realizaci zdroje, výrobě DPS, popisu a návrhu pomocných obvodů a ochran. V poslední části bylo provedeno kontrolní měření daných výstupů a byly vyneseny zatěžovací charakteristiky jednotlivých zapojení. U zapojení stabilizovaného zdroje 5 V došlo k mírnému odklonu od zadání, kdy bylo zjištěno, že stabilizátor je schopen stabilizovat výstupní napětí do hodnoty zatěžovacího proudu 1,5 A a poté napětí začne výrazně klesat a nebylo dosaženo požadovaných 2 A. Tento nedostatek by bylo možné vyřešit, například proudovým posílením jako u zapojení stabilizovaného zdroje 12 V. Zapojení stabilizovaného zdroje 12 V je funkční a stabilizuje napětí bez většího poklesu až do hodnoty 4 A. U regulovatelného zdroje bylo změřeno, že při maximálním napětí 30 V je obvod schopen stabilizovat dané napětí pouze do hodnoty zatěžovacího proudu 1,5 A, a poté dochází k výraznějšímu poklesu. Tento pokles je způsoben poklesem napětí na transformátoru a bylo by vhodné zvolit transformátor s vyšším výstupní proudem sekundárního vinutí. Pro napětí od 0 V až 25 V, už je obvod schopen dodat požadovaný proud 3 A s minimálním úbytkem napětí.

Citovaná literatura

- [1] **Krejčířík, Alexandr.** *NAPÁJECÍ ZDROJE I.* Praha : BEN-technická literatura, 1996. ISBN 80-86056-02-3.
- [2] **Zdeněk, Faktor.** *Transformátory a cívky.* Praha : BEN-technická literatura, 1999. ISBN 80-86056-49-X.
- [3] **Krejčířík, Alexandr.** *Lineární napájecí zdroje.* Praha : BEN-technická literatura, 2001. ISBN 80-7300-002-4.
- [4] [www.st.com](https://www.st.com/resource/en/datasheet/178s.pdf). [Online][Citace:7.22021.]
<https://www.st.com/resource/en/datasheet/178s.pdf>.
- [5] [www.alldatasheet.com](https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/69438/KEC/7812.html). [Online][Citace:7.22021.]
<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/69438/KEC/7812.html>.
- [6] Půhoný, Jan. [vyvoj.hw.cz](https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/konstrukce/laboratorni-zdroj-0-30v2ma-3a.html). [Online][Citace:7.32021.] <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/konstrukce/laboratorni-zdroj-0-30v2ma-3a.html>.
- [7] Daniel, Kouřil. *Metodika návrhu PCB.* 2019